

TARTU ÜLIKOOL
LOODUS- JA TÄPPISTEADUSTE VALDKOND
Tehnoloogiainstituut

Kristo Hõrrak

**GAASIKULUMÕÕTURI TSI 4143 JUHTIMISE TARKVARA
ARENDAMINE**

Bakalaureusetöö (12 EAP)

Arvutitehnika eriala

Juhendaja:
Urmas Hõrrak, PhD
TÜ Füüsika Instituudi
vanemteadur

Tartu 2017

Resüme

Gaasikulumõõtori TSI 4143 juhtimise tarkvara arendamine

Käesolev bakalaureusetöö kirjeldab gaasikulumõõtori TSI Mudel 4143 juhtimiseks ja andmehõiveks valmistatud tarkvara, mille eesmärgiks on lihtsustada ja automatiseerida antud mõõteseadme kasutamist, muutes selle kasutajasõbralikuks ja paremini hallatavaks tööriistaks. Graafilise programmeerimiskeskonna LabVIEW baasil loodud uus tarkvara koos sülearvutiga loob head võimalused gaasikulumõõtori kasutamiseks iseseisva mõõteriistana teiste seadmete gaasikulude kiireks testimiseks ja kalibreerimiseks või kasutamiseks integreeritud mõõtesüsteemide osana. Tarkvara võimaldab kasutajal seadet operatiivselt juhtida, varundada kergesti andmeid mõõteseadmelt ja tegeleda koheselt andmeanalüüsiga. Selleks suudab tarkvara luua ühenduse juhtarvuti ja seadme vahel ja tuvastada antud mõõteseadme, konfiguratsioonide olulisemaid mõõtmisparameetreid, kuvada mõõteinfot ekraanil nii numbrilisel kui ka graafilisel kujul, salvestada mõõteinfot andmebaasi ja seda andmebaasist hilisemaks analüüsi tarbeks kuvada ja vajadusel kustutada. Andmete graafiline kuvamine võimaldab kasutajal jooksvalt jälgida mõõdetavate gaasikulude stabiliseerumist pärast nende seadistamist ja valida salvestatavate andmete registreerimise algusaega. Mõõtmiste tulemusena statistiliselt kaaluka valimi põhjal leitud gaasikulu, temperatuuri ja rõhu keskväärtused ja standardhälbed annavad usaldusväärse hinnangu mõõdetavate suuruste ja nende hajuvuse kohta.

CERCS: T120 Süsteemitehnoloogia, arvutitehnoloogia

Märksõnad: arvutid, LabVIEW, andmebaasid, kontrollid, arvutijuhitavad mõõtmised

Abstract

Software development for thermal mass flow meter TSI 4143

The current bachelor's thesis describes the design and development of data acquisition and control software for the thermal mass flow meter TSI Model 4143, which aims to simplify and automate the use of device, making it more easily manageable and user-friendly tool. The developed software, developed in the LabVIEW graphical programming environment, together with a laptop offers good possibilities for using the thermal mass-flow meter as an independent instrument for quick testing and calibration of gas-flows of various devices or using it as a part of an integrated measurement system. The software allows the user to control the device promptly, easily acquire and save data from the measuring device and immediately analyze the data. For that purpose, the software is able to establish a connection between the host computer and the device, identify the particular measuring device, configure it's key measurement parameters, display the measured data on the screen in numerical and graphical form, store the acquired information in a local database, as well as display the data from the database for later analysis and, if necessary, remove it. The graphical representation of data enables the user to continuously monitor the stabilization of measured gas flow rates after their adjustment and select the proper start time for recording data. As a result of measurements, the mean values of gas flow, temperature and pressure and their standard deviations, obtained on the basis of statistically weighted data, provide reliable estimates of measured parameters and their variability.

CERCS: T120 Systems engineering, computer technology

Keywords: computers, LabVIEW, databases, controllers, computer guided measurements

SISUKORD

Resümee	2
Abstract	3
Jooniste loetelu.....	5
Tabelite loetelu.....	6
Lühendid ja mõisted	7
1 Sissejuhatus	8
2 Valdkonna ülevaade	9
2.1 Termoelektriliste gaasikulumõõturite tööprintsip ja teooria	9
2.2 Konstantse temperatuuri ja voolu mõõtmismeetodid	11
2.3 Gaasi standardkulu versus mahukulu ehk ruumkiirus	13
3 Materjal ja metoodika.....	14
3.1 Meetodid.....	14
3.2 Aparatuur	15
3.3 Programmi nõuded	17
4 Tulemused	18
4.1 Esipaneeli kirjeldus.....	18
4.2 Programmi töötamise kirjeldus.....	26
4.2.1 Programmi üldine tööpõhimõte	26
4.2.2 Mõningate programmi töö seisukohalt olulisemate plokkide selgitamine.	27
4.2.3 Programmi juhtimise ülesehitus.....	31
4.2.4 SQLite andmebaas	33
4.2.5 Jooksva graafiku kuvamine ekraanil.....	35
4.3 Programmi installer	36
4.4 Programmi kiirkasutusjuhend.....	37
4.5 Loodud tarkvara kasutamise eelised.....	40
4.6 Tarkvara edasiarenduse võimalused.....	42
Kokkuvõte	43
Summary	44
Kasutatud kirjanduse loetelu	45
LISAD	47
Lihtlitsents	49

Jooniste loetelu

Joonis 1: Konstantse temperatuuri meetodi elektriline põhimõtteskeem.....	12
Joonis 2: Gaasikulumõõtur TSI Mudel 4143	15
Joonis 3: Sülearvuti juhtimas TSI 4143 mõõteseadet valminud tarkvaraga	16
Joonis 4: Valminud programmi esipaneel.....	18
Joonis 5: Programmi oleku (1. punkti) ja seadme ühendamise (2. punkti) osad.....	19
Joonis 6: Programmi esipaneeli mõõtmiste algseadistuste ja käivitamise akna (3. punkti) erinevatele kuvadele vastavate menüüde osad	20
Joonis 7: Programmi esipaneeli andmete salvestamise (4. punkt), varasemate salvestatud mõõtmiste (5. punkt) ekraani osad	22
Joonis 8: Mõõtmisinfo kuvamise aken (6. punkt) kuvamas reaalaaja mõõtmisinfot (6.2 punkt).	24
Joonis 9: Salvestatud mõõtmisinfo akna (6.3 punkt) ekraani osa	25
Joonis 10: Programmi töötamist kirjeldav UML skeem	26
Joonis 11: UML skeemina välja toodud „Varasemate mõõtmistulemuste kuvamine või kustutamine“ plokk	27
Joonis 12: UML skeemina välja toodud „Programmi algseadistamise“ plokk.	28
Joonis 13: UML Skeemina välja toodud „Ühendamine seadmega õnnestus?“ plokk.	28
Joonis 14: UML skeemina välja toodud „Mõõtmisparameetrite rakendamine seadmele“ plokk.	29
Joonis 15: UML Skeemina välja toodud „Programm tegeleb mõõtmisega“ plokk	30
Joonis 16: UML Skeemina välja toodud „Salvestusandmete kogumise alustamise tingimus täidetud“ plokk.	30
Joonis 17: UML Skeemina välja toodud „Salvestusandmete kogumise lõppemise tingimus täidetud“ plokk.	31
Joonis 18: Programmi töötamist kirjeldav lihtsustatud põhimõtteskeem.....	32
Joonis 19: Programmis kasutusel olev SQLite andmebaasi tabelite skeem.	33
Joonis 20: Ekraanil kuvatava jooksva graafiku ajalise kujutamise põhimõtteskeem.....	35
Joonis 21: Seadme TSI 4143 juhtimis-tarkvara paigaldamiseks loodud LabVIEW programmi projekti faili ja selle osade kuva.	36
Joonis 22: Seadme TSI 4143 juhtimistarkvara paigaldamise installeerimisprogrammi akna kuva.	36

Tabelite loetelu

Tabel 1: Mõõteseadmele saadetavad käsud mõõtmiste alustamisel.....	29
Tabel 2: Programmi tööolekute sidusus programmi juhtpaneeli nuppudega.	31

Lühendid ja mõisted

UML (Unified Modeling Language) – Ühtne modelleerimiskeel, mis on mõeldud erinevate skeemide kirjeldamiseks.

SQL (Structured Query Language) – Struktuurpäringukeel, mis on kasutusel andmehalduse jaoks relatsioonandmebaaside juures.

VI (Visual Instrument) – LabVIEW keskkonnas kasutusel olevate programmide nimetused.

EXE – Windowsi operatsioonisüsteemis kasutatav täitefail.

1 Sissejuhatus

Käesolev bakalaureusetöö on tehtud Tartu Ülikooli Füüsika Instituudi keskkonnanäüüsika laboris ja käsitleb seal kasutuses olevate aerosooliseadmete testimiseks ja kalibreerimiseks kasutatavate digitaalsete termoelektriliste gaasikulumõõturite rakendusmeetodite arendamist ja mõõtmisprotsessi automatiseerimist, selleks vajaliku tarkvara projekteerimist, loomist, testimist ja rakendamist. Töö kuulub arvutitehnika valdkonda.

TÜ Füüsika Instituudi keskkonnanäüüsika labor tegeleb oma teadustöös atmosfääri aerosoolide ja -ioonide füüsikalis-keemiliste tekkeprotsesside uurimise, selleks vajaliku osakeste suurusjaotuste ja õhu keemilise koostise mõõtmistega, aerosooliseadmete kalibreerimiseks tarvilike testaerosoolide genereerimise süsteemide ja aerosoolispektromeetrite arendamisega. Selle töö juures on arvestatava tähtsusega seadmete õhukulude rutiinne mõõtmine, tagamaks seadmete korrektset funktsioneerimist ja mõõtmistulemuste usaldusväärsust, seda nii laboriekspriimentides kui ka välimõõtmistel Põlvamaal Järveljal ja Pärnumaal Tahkusel, mis on Eesti välisõhu kvaliteedi seirevõrgustiku osa.

TÜ Füüsika Instituudi keskkonnanäüüsika laboris on seadmete õhukulude mõõtmiseks traditsiooniliste õhukulumõõturite (rotameetrid, Venturi torud, Gilian Gilibrator-2) kasutusel ka Firma TSI Inc termoelektrilised gaasikulumõõturid TSI Mudel 4040 ja 4143. TSI seadmetega ei ole kaasas mõõtmistulemuste andmehõive (andmete kogumise ja salvestamise), graafilise visualiseerimise ja andmeanalüüsi paketti, on vaid programm seadme sisemiste tööparameetrite seadistamiseks ja seegi vaid EXE-faili kujul (TSI setup). Seadmete eneste sisseehitatud displeidel kuvatav info mõõdetavate parameetrite (gaasikulu, temperatuur ja rõhk) kohta on väga napp, piirdudes vaid vahetult mõõdetavate suurustega numbrilisel kujul. Väiksema displeiga TSI Mudel 4143 korral on võimalik korraga kuvada vaid ühte parameetritest või kuvada neid järgemööda, kuva muutmiseks on tarvis kasutada seadme sisemiste tööparameetrite seadistamise programmi. Kõik see muudab töö seadmega üsna vaevaliseks ja aeganõudvaks. Seadmega otse ühenduse loomiseks läbi jadaväraati on soovitatud kasutada programmi Hyper Terminal ja kasutusjuhendis kirjeldatud juhtimiskäske (Serial Command Set). Vastava rakenduse koostamine on jäetud kasutaja ülesandeks.

2 Valdkonna ülevaade

Kuna käesolevas töös kasutatud seadmeks, mille tarkvara koostati, on firma TSI Inc termoelektriline gaasikulumõõtja, siis alljärgnevat antakse lühiülevaade ka selle valdkonna arengust ja mõõtmismetoodikast.

Termoelektrilisel mõõtmisprintsiiibil töötavate gaasikulumõõtjate tööprintsipiide väljatöötamisega alustati juba aastatel 1900. Meetodi loojaks peetakse Kanda McGill'i Ülikooli professorit Louis Vessot King'i, kes 1914 aastal avaldas põhjapaneva töö meetodi teoreetilistest alustest, ehitas seadme prototüübi, mida nimetati „hot-wire anemometer“ ja kasutas seda oma uurimistöös. 1930. aastateks olid meetodi põhiprintsiibid paika pandud. [1] Kui algselt kasutati seda meetodit põhiliselt gaaside (õhu) keskmiste voolukiiruste mõõtmiseks, siis edaspidi ka gaaside turbulentse (keeriselise) voolamise uurimiseks. Keerukuse tõttu seadmete kasutamisel ja kalibreerimisel sai meetodi laialdasem kasutamine võimalikuks alles aastatel 1960 – 1970, kui võeti kasutusele kaasaegsem elektroonika ja kasvas tööstuse nõudmine selliste mõõtevahendite järele. [2]

Tänapäeval on termoelektriline gaasikulu mõõtmismeetod (CTA – Constant Temperature Anemometry) jäänud teiste moodsamate mõõtmismeetodite (PIV - Particle Image Velocimetry, LDA - Laser Doppler Anemometry, jt) kõrval siiski üheks enamkasutatavaks meetodiks. [3] [4]

Meetodit kasutakse laialdaselt mitmetes tööstuslikes rakendustes gaasivoolude mõõtmisel ja reguleerimissüsteemides [5] [6] [7], aga samuti ka eksperimentaalses uurimistöös. [8]

2.1 Termoelektriliste gaasikulumõõturite tööprintsip ja teooria

Termoelektrilistes gaasikulumõõturites kasutatakse gaasi voolamiskiiruse hindamiseks gaasi soojuslikke omadusi kanda soojust ära gaasivoolu paigutatud väikeselt köetavalt kehalt – sensorilt.

Sensoriks on tavaliselt temperatuuritundlik termotakisti - ülipeenike traat (plaatina, volfram, plaatina-iriidiumi sulam), läbimõõduga mõned mikromeetrid, mis on pingutatud kahe toetusvarda külge. Kasutakse ka juhtivast materjalist (plaatina, nikkel) õhukest kilet, mis kantud mittejuhtivast materjalist aluse (kvarts) peale. [3] Vastavaid andureid nimetatakse erialases kirjanduses kuum-traat (inglise keeles „hot-wire“) ja kuum-kile (inglise keeles „hot-film“) anduriteks ja nende baasil valmistatud seadmeid ka termoanemomeetriteks. [9]

Andurist mööduv õhuvool kannab sellelt ära soojust. Soojuse kadu sõltub gaasivoolu kiirusest (massivoolukiirusest), gaasi soojusmahtuvusest ja temperatuuri erinevusest anduri ja gaasikeskkonna vahel. Sensorile rakendatav elektriline võimus läheb sensori enda täiendavaks soojendamiseks (temperatuuri tõstmiseks) ja soojusülekande teel sensorit ümbritseva voolava gaasi soojendamiseks. Protsessi kirjeldab võrrand: [10] [11]

$$I^2 R_w = C_w \frac{dT}{dt} + \pi d_w l_w h (T_w - T_a), \quad (1)$$

kus I on sensorit (termotakistit) läbiva elektrivoolu tugevus, R_w on sensori elektriline takistus, T_w ja T_a on vastavalt sensori ja voolava gaasi temperatuurid, C_w on sensori soojusmahtuvus, dT/dt on temperatuuri muutumiskiirus sensoril, d_w ja l_w on vastavalt sensori läbimõõt ja pikkus ja h on sensori ja gaasi vahelise soojusülekande tegur.

Võrrandi 1 vasak pool kirjeldab sensoris voolu toimet eralduvat võimsust ($W = I^2 R_w$), parempoolne esimene liige sensoris salvestuvat soojust ja teine liige ümbritsevale gaasile antavat soojust. Soojusliku tasakaalu tingimustes on sensoril eralduv elektriline võimsus võrdne gaasile ajaühikus konvektsiooni teel ära antava soojushulgaga ehk eralduva soojusenergia võimsusega ja saame lihtsama võrduse: [10] [12]

$$I^2 R_w = \pi d_w l_w h (T_w - T_a) = A_w h (T_w - T_a), \quad (2)$$

kus $A_w = \pi d_w l_w$ on sensori gaasivooluga risti oleva projektsiooni pindala.

Üldjuhul on sensori oomiline takistus R_w samuti temperatuurist sõltuv suurus:

$$R_w = R_{ref} [1 + \alpha_T (T_w - T_{ref})], \quad (3)$$

kus α_T on sensori takistuse temperatuuritegur, R_{ref} on sensori takistus teadaoleval referentstemperatuuril.

Soojusülekande tegur h on gaaside voolamisel konkreetse tiheduse ja väikeste Reynolds'i arvude korral üldiselt avaldatav (vastavalt King'i seadusele) kujul: [13] [1] [10]

$$h = a + b v_f^c, \quad (4)$$

kus v_f on gaasivoolu kiirus ja a , b ja c on konstandid, $c \approx 0.5$.

Elimineerides võrrandist (2) soojusülekande teguri, saame:

$$I^2 R_w = A_w (T_w - T_a) (a + b v_f^c). \quad (5)$$

Millest gaasi voolamise kiirus on avaldatav:

$$v_f = \left[\left(\frac{I^2 R_w}{A_w (T_w - T_a)} - a \right) / b \right]^{1/c}, \quad (6)$$

Konstandid a , b ja c on määratavad seadme kalibreerimisel, $c \approx 0.5$.

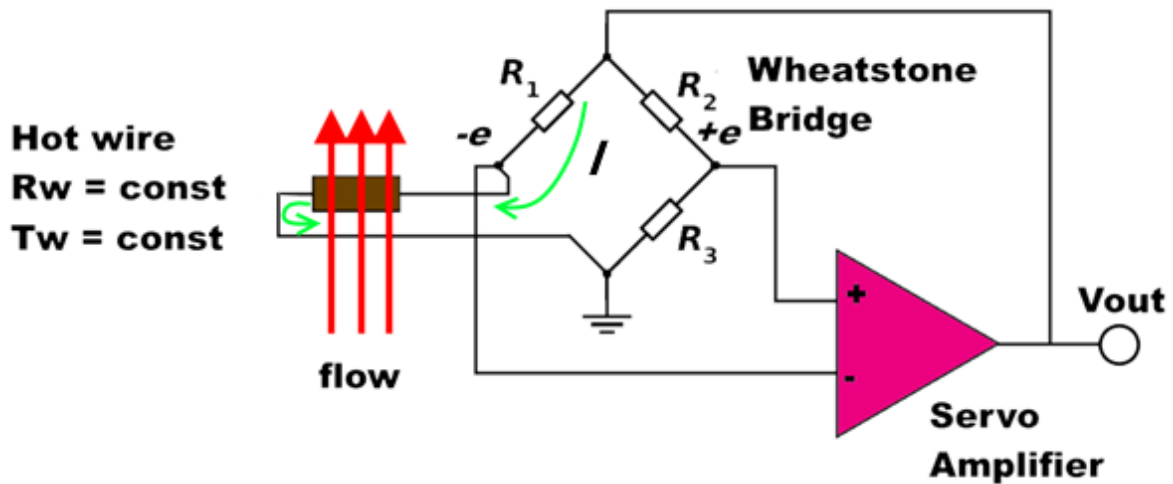
Gaasi temperatuuri T_a mõõtmiseks on termoelektrilistes gaasikulumõõturites kasutusel eraldi andur.

2.2 Konstantse temperatuuri ja voolu mõõtmismeetodid

Kasutusel on kaks mõõtmismeetodit: konstantse temperatuuri ja konstantse voolu meetod. [9] Enamlevinum on nendest esimene, kuna see ei ole nii kriitiline gaasivoolu ootamatu muutumise suhtes. Selleks, et seade oleks piisavalt tundlik tuleb sensori temperatuur tõsta oluliselt kõrgemale mõõdetava gaasi temperatuurist, seda eriti konstantse voolu meetodi kasutamise korral, et tagada seadmele piisav mõõteulatus. Viimasel juhul ähvardab sensorit gaasivoolu ootamatu katkemise korral läbipõlemine.

Konstantse temperatuuri meetodit kasutavates seadmetes hoitakse sensori temperatuur T_w ja takistus R_w konstantsena, muutes selleks sensorit läbiva elektrivoolu tugevust. Kuna R_w on temperatuuri funktsioon (vt. valem 3), siis ühe nendest konstantsus tagab ka teise konstantsuse. Mõõdetava gaasivoolu kiirus on funktsioon elektrivoolu tugevusest ja gaasi temperatuurist $v_f = f(I, T_w)$. Kuna gaasi temperatuuri mõõdetakse eraldi temperatuurianduriga, siis seda arvestades, taandub gaasi voolukiirus vaid sensorit läbiva elektrivoolu funktsiooniks (vt. valem 6).

Konstantse voolu printsiipi kasutavates seadmetes ($I = \text{const}$) on gaasi voolukiirus funktsioon sensori ja gaasi temperatuurist $v_f = f(T_w, T_a)$. Gaasi temperatuuri mõõtmisel taandub voolukiiruse leidmine vaid sensori temperatuuri mõõtmisele. Kuna sensori temperatuur T_w ja takistus R_w on omavahel seotud, siis gaasi voolukiiruse saab seostada ka sensori takistusega.



Joonis 1: Konstantse temperatuuri meetodi elektriline põhimõtteskeem

Konstantse temperatuuri meetodit kasutavate seadmete, milleks on ka TSI gaasimõõtja 4143, lihtsustatud elektriline põhimõtteskeem on esitatud Joonisel 1. [10] Seadme põhiosaks on nn Wheatestone'i sildskeem („Wheatstone Bridge“), mille ühte õlga on ühendatud gaasikulu kuum-traat sensor („Hot wire“) takistusega R_w . Silkskeemi teised osad on konstantse takistusega takistid R_1 - R_3 , mille väärtused on valitud nii, et algsees tööpunkti oleks sild tasakaalus ja pinge mõõtevõimendi sisendis võrdne nulliga. Silkskeemi toidetakse läbi kiire mõõtevõimendi „Servo Amplifier“, mis võimaldab jälgida gaasikulu muutusi sagedusega kuni ca 100 kHz. [3] Sensori takistus R_w on positiivse temperatuuriteguriga ja temperatuur takistil T_w tunduvalt (ca 150-200 °C [14] [12]) kõrgem gaasi temperatuurist T_a , nii et gaasivool avaldab sensorile jahutavat mõju. Kiirenev gaasivool põhjustab sensori temperatuuri T_w ja takistuse R_w vähenemise, mis viib pinge vähenemisele mõõtevõimendi sisendis ja suurenemisele selle väljundis. Suurenev pinge Wheatestone'i silkskeemil põhjustab voolu suurenemise läbi sensori takisti R_w ja esialgse temperatuuri taastumise. Ja nii kõigi seadme mõõtepiirkonnale vastavate õhukulude (samuti temperatuuride) korral.

Seadme väljundpinge ja gaasi voolukiiruse vahelist seost kirjeldab võrrand: [10]

$$U_{out} = I (R_1 + R_w) = (R_1 + R_w) \sqrt{\frac{A_w (T_w - T_a) (a + b v_f^c)}{R_w}}. \quad (7)$$

Gaasi temperatuuri muutumise arvestamiseks on tarvis seda eraldi mõõta ja arvestada andmetöötluse juures.

2.3 Gaasi standardkulu versus mahukulu ehk ruumkiirus

Firma TSI Inc. termoelektrilised gaasi kulumõõturid, sealhulgas ka käesolevas töös kasutatud TSI Mudel 4143, kuuluvad massivoolukiirust mõõtvate seadmete hulka. Erinevalt tavapärasest kasutatakse massivoolukiiruse ühikuna mitte ühikut kg/s vaid nn standard liitrit minutis (Std L/min). Seda selleks, et seadme kasutajatel oleks mugav võimalus massivoolukiiruse võrdlemiseks ruumkiirusega, mida seade ka on võimeline väljastama.

Gaasi standardkulu (Std L/min) on defineeritud kui gaasikulu (ruumkiirus), mida gaas omaks kui gaasi temperatuur ja rõhk oleksid võrdsed standardtingimustele vastavate väärtustega. TSI seadmete korral on standardtingimusteks temperatuur 21.1 °C (70 °F) ja rõhk 101.3 kPa (14.7 psia). Kuna TSI termoelektriliste kulumõõturite sensorid on siiski mingil määral tundlikud gaasi tiheduse (määratud temperatuuri ja rõhuga), siis kõik need TSI termoelektrilised kulumõõturid näitavad gaasikulu standardtingimuste suhtes. Standardtingimustest erinevate tingimuste korral lisandub seadme mõõtmistulemuse (Std L/min) põhimääratusele teatud lisandmääramatus (kirjeldatud seadme kasutusjuhendis), mõõtmistulemuse enese korrigeerimiseks mingit algoritmi antud ei ole.

Juhul kui kasutajat huvitavaks parameetriks on gaasi ruumkiirus (Φ), on see seadme TSI Mudel 4143 poolt arvutatav korrutades standardkulu (Φ_{st}) läbi gaasi tiheduse muutuse korrigeerimisega:

$$\Phi = \Phi_{st} \left(\frac{273.15 + T}{273.15 + 21.11} \frac{101.3}{P} \right), \quad (8)$$

kus T on seadme poolt mõõdetav gaasi temperatuur (°C) ja P seadme poolt mõõdetav gaasi rõhk (kPa).

Näiteks kui gaasi temperatuuril 15 °C ja rõhul 117 kPa mõõdetud standardkulu on 10 Std L/min, siis seadme poolt näidatav mahukulu (ruumkiirus) peaks olema 8.478 L/min. Tulemuse mõõtemääramatusele lisanduvad lisaks standardkulu mõõtemääramatustele temperatuuri ja rõhu mõõtemääramatused.

Gaasi massivoolukiirus Φ_m (inglise keeles „mass flow rate“) ja ruumkiirus Φ on seotud omavahel lihtsa seose kaudu: $\Phi_m = \rho \Phi$, kus ρ on gaasi tihedus. Teades gaasi tihedust või arvutades selle ideaalse gaasi olekuvõrrandist temperatuuri ja rõhu alusel, on võimalik seadme mõõtmistulemuste alusel hinnata ka massivoolukiirust (kg/s).

3 Materjal ja metoodika

3.1 Meetodid

Tarkvara loomiseks kasutasin LabVIEW graafilist programmeerimiskeskonda koos SQLite andmebaasi haldamise süsteemiga. LabVIEW, mis on loodud inseneridele ja teadlastele tarkvara arendamiseks, on visuaalprogrammeerimise arenduskeskkond, mis võimaldab luua kiirelt ja tõhusalt programme riistvara juhtimiseks, andmehõiveks, andmeanalüüsiks ja muudeks otstarveteks. [15] LabVIEW kasutamise tõhusus seisneb erinevates sisseehitatud teekides (kollektsioon funktsioone vms komponente), mis võimaldavad tarkvara arendajal pühenduda rohkem aega enda süsteemi ülesehitamisele kui teatud tööriistade loomisele. Näiteks võimaldab LabVIEW luua kiirelt kasutajaliidese programmi jaoks, mis on suuteline visualiseerima andmeid ja võimaldab tegeleda kasutajapoolsete sisenditega.

SQLite on vabavaraline kompaktne relatsioonandmebaasi juhtimissüsteem, mis põhineb SQL andmebaasisüsteemi mootoril. [16] SQLite on kasutaja programmi põimitav andmebaas, mis ei vaja eraldi serveri-keskkonda, võrreldes teiste SQL klient-server tüüpi andmebaasi juhtimissüsteemidega. SQLite võimaldab kirjutada ja lugeda kasutades tavapärasest kettafaili. Selle juhtimissüsteemi abil on võimalik tagada kiire, usaldusväärne ja turvaline andmesalvestamise süsteem. SQLite on väga hoolikalt testitud süsteem ja väldib andmekadu, kui antud juhtarvutil peaks tekkima tõrkeid operatsioonisüsteemiga või toimub mingi ootamatu sündmus, näiteks elektrikatkestus.

3.2 Aparatuur

Seade, mille jaoks tarkvara koostati on firma TSI Inc termoelektriline gaasikulumõõtur, täpsemalt väljendatuna massikulumõõtur (vt. Joonis 2). Laboraatorseteks uuringuteks mõeldud üldotstarbeline massikulumõõtur võimaldab lisaks õhule, mõõta ka selliste gaaside nagu hapniku (O_2) ja lämmastiku (N_2) kulu, lisaks gaasi temperatuuri ja rõhku. Viimased on vajalikud mõõtmisprotsessis seadme poolt mõõdetava gaasi kulu täpsemaks hindamiseks, aga samuti seadme poolt väljastatavate gaasi kulu mõõtühikute konverteerimiseks - massikulu ühikule (kg/s) vastava ekvivalentse ühiku Std L/min (standard liitrit minutis) ja mahukulu ühiku L/min vaheliseks teisenduseks.

Selle gaasikulumõõturiga saab mõõta vookiirust vahemikus 0,01 kuni 20 Std L/min, temperatuuri vahemikus 0 kuni 50°C ja rõhku 50 kuni 199 kPa. Täpsemad tehnilised andmed on esitatud käesoleva töö lisades (LISA 1).



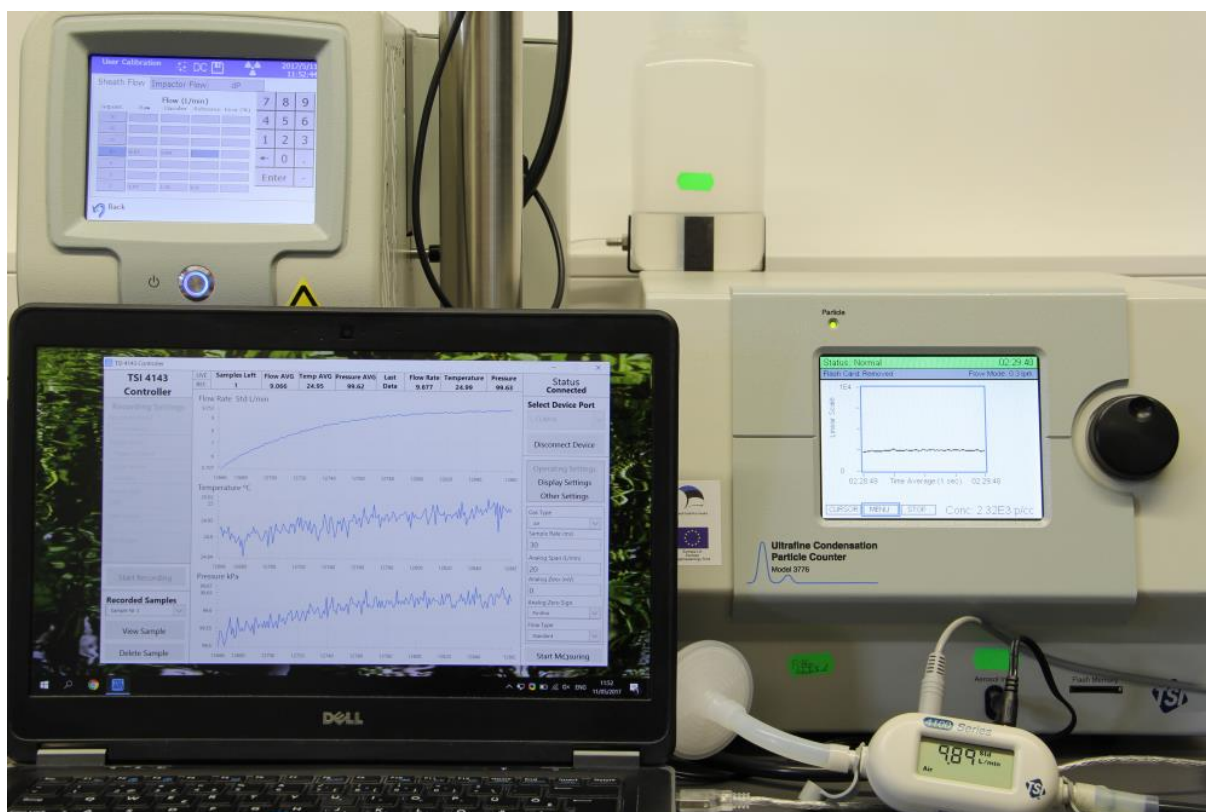
Joonis 2: Gaasikulumõõtur TSI Mudel 4143

Loodud tarkvara kasutab TSI 4143 gaasikulumõõturiga suhtlemiseks RS232 liidest. Infovahetus TSI 4143 gaasikulumõõturiga toimub ülem-alluv režiimis, kus ülemaks on juhtarvuti ja alluvaks on gaasikulumõõtur. Infovahetuseks antud seadmega toimub käsu ja vastuse süsteemil, kus peale juhtarvuti pool väljastatud käsku tuleb seadmel saata vastus enne muu tegevuse jätkumist. Antud programm saadab käske mõõteseadmele mõõtmisparameetrite muutmiseks ja mõõteinfo vastuvõtmiseks.

Seadme juhtimiseks on kasutusel RS232 protokoll järgnevate seadistustega:

- Edastuskiirus: 38400
- Andmebitte: 8
- Paarsuskontroll: Puudub
- Stopp-bitte: 1
- Voo juhtimine: Puudub

Mõõteseadme ja juhtarvuti (vt. Joonis 3) vahelise suhtluse loomiseks on kasutatud kahte omavahel ühendatud ülemineku kaablit, millest esimene on seadmega ühenduv Mini-Din-8 -> RS232 kaabel ja teine RS232 -> USB, mis ühendub arvutiga.



Joonis 3: Sülearvuti juhtimas TSI 4143 mõõteseadet valminud tarkvaraga

3.3 Programmi nõuded

Eesmärgi täitmiseks peab loodav tarkvara võimaldama teostada järgmisi protseduure:

1. Loob ühenduse USB jadavärati kaudu ühendatud mõõteseadmega ja on võimeline selle konkreetse seadme ära tundma, seda juhaks kui erinevatesse USB portidesse on ühendatud ka teisi seadmeid.
2. Võimaldab konfigureerida mõõteseadme olulisemaid sisemisi parameetreid vastavalt kasutaja valikutele (vt. allpool).
3. Suudab mõõteseadmelt pärida mõõteinfot (gaasikulu, temperatuur ja rõhk) ja kuvada seda arvuti ekraanil numbrilisel ja graafilisel kujul.
4. Leiab jooksvate mõõtetulemuste alusel nende keskväärtused, vastavalt kasutaja poolt etteantud keskmistamise perioodile, ja kuvab tulemusi ekraanil koos vahetult mõõdetud tulemustega.
5. Võimaldab vastavalt kasutaja valikutele või etteantud tingimustele alustada ja lõpetada salvestamiseks mõeldud andmete kogumist.
6. Võimaldab eristada salvestatavate andmete graafilist kuva mittesalvestatavate jooksvate andmete graafilisest kuvast.
7. Teostab seadistuste (nii mõõteseadme sisemiste tööparameetrite kui ka kasutajaliidese parameetrite valikute) salvestamist ja laadimist andmebaasist.
8. Mõõteinfo salvestamine pidevas ja etteantud mõõtmiste arvuga režiimides.
9. Mõõteinfo automaatse salvestamise alustamine ja lõpetamine selleks loodud spetsiaalsete programmiliste päästikutega (trigeritega).
10. Mõõteinfo salvestamine andmebaasi.
11. Salvestatud mõõteinfo kuvamine ekraanil, nende alusel keskmiste ja standardhälbe arvutamine.
12. Varasemate mõõtmiste kirjade lugemine andmebaasist ja kuvamine, vajadusel kustutamine.

4 Tulemused

Käesoleva bakalaureusetöö raames valmis firma TSI Inc. gaasikulumõõduri TSI 4143 juhtimiseks mõeldud LabVIEW programm „TSI 4143 Controller“, mille esipaneel on kujutatud joonisel 4, koos selle paigaldusprogrammiga (installer) Windowsi keskkonna jaoks. Antud programmi abil on võimalik luua ja tuvastada ühendus mõõteseadmega, muuta seadme mõõtmisparameetreid ja sooritada mõõtmisi koos salvestamisega. Lisaks on võimalik andmebaasi salvestatud andmeid vaadata ja kustutada.

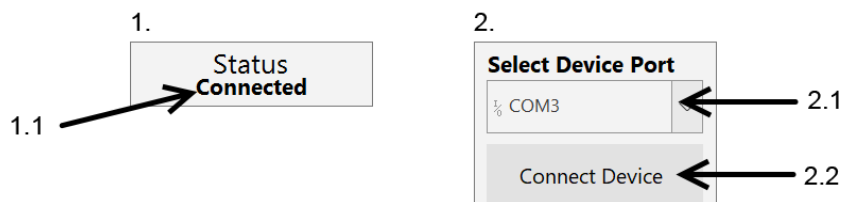


Joonis 4: Valminud programmi esipaneel

4.1 Esipaneeli kirjeldus

Programmi „TSI 4143 Controller“ esipaneel jaguneb neljaks suuremaks funktsionaalseks osaks (vt. Joonis 4): tsentraalne aken – mõõtmisandmete ja salvestatud andmete kuva aken, parempoolne ülemine aken – programmi töö seisundi ja seadmega ühendamise aken, parempoolne alumine aken – seadme töö- ja mõõtmisparameetrite seadete aken, vasak ülemine aken – salvestusrežiimi käivitamise ja parameetrite seadete aken, parempoolne alumine aken – andmebaasi salvestatud andmete vaatamise ja kustutamise aken. Programmiakna parempoolse osa akende graafiline kuva ja sisu sõltub programmi kasutaja poolt tehtud valikutest. See on vajalik ruumi kokkuhoiduks esipaneelil.

Järgnevalt on ära toodud programmi „TSI 4143 Controller“ esipaneeli erinevate osade kirjeldused. Programmi esipaneeli erinevate osade funktsioonide selgitamiseks kasutame allpool väljatoodud joonistel numbritega viitamist, seostamaks joonistel olevat infot allpool järgneva selgitava teksti alapunktidega. Samuti on jooniste allkirjades kasutatud samasugust viitamist selgitava teksti alapunktidele.



Joonis 5: Programmi oleku (1. punkti) ja seadme ühendamise (2. punkti) osad

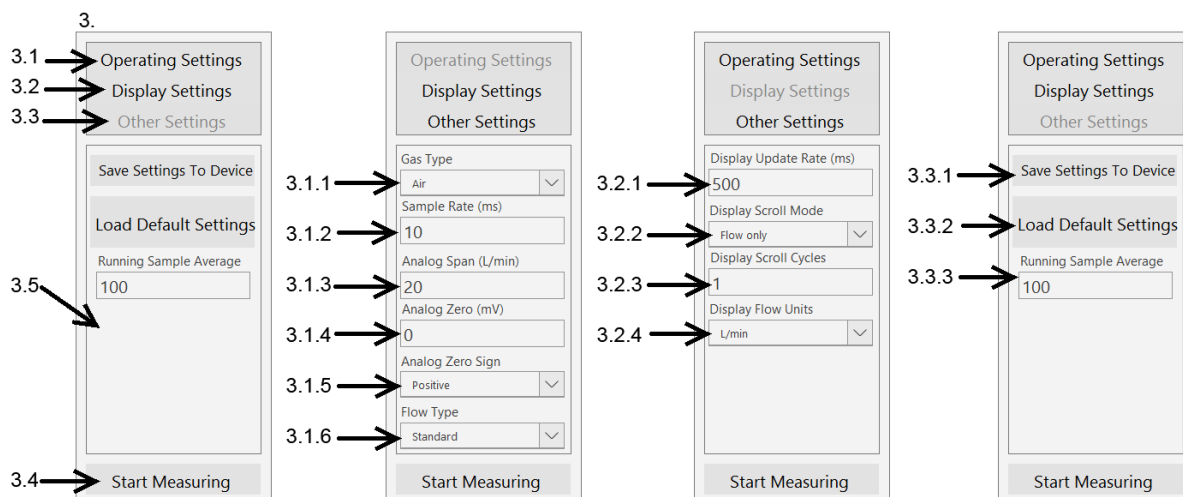
1. Programmi oleku aken „Status“ (vt. Joonis 5).

1.1. Indikaator – kuvab programmi töö hetkeolekut, st. ühendatust seadmega („Connected“/„Disconnected“), mõõtmis- või salvestusrežiimi tunnust („Measuring“/„Recording“) või veateateid, kui peaks seadmega ühendumine või mõõtmise ajal suhtlus ebaõnnestuma.

2. Seadmega ühendamise aken – programmi ja seadme vahelise ühenduse loomiseks või katkestamiseks mõeldud osa.

2.1. Rippmenüü „Select Device Port“ – laseb valida seadmega ühendamiseks mõeldud jadavärati.

2.2. Nupp „Connect Device“/„Disconnect Device“ – seadmega ühendamiseks või ühenduse katkestamiseks mõeldud nupp. Kui ühendamine seadmega õnnestus salvestatakse punktis 2.1 valitud jadavärati andmed andmebaasi.



Joonis 6: Programmi esipaneeli mõõtmiste algseadistuste ja käivitamise akna (3. punkti) erinevatele kuvadele vastavate menüüde osad

3. Mõõtmisparameetrite seadistamiseks ja mõõtmise alustamiseks või katkestamiseks mõeldud osa. (vt. Joonis 6).

3.1. Nupp „Operating Settings“ – kuvab 3.5. aknas seadme mõõtmisseadistused. Lähtutud on seadme seadistamiseks kaasa olnud originaalprogrammi „TSI setup“ võimalustest seadet konfigureerida.

3.2. Nupp „Display Settings“ – kuvab 3.5. aknas seadme LCD ekraanil kuvatavate suuruste seadistused. On vajalikud peamiselt seadmega individuaalseks töötamiseks või paralleelseks töötamiseks koos programmiga TSI 4143 Controller.

3.3. Nupp „Other Settings“ – kuvab 3.5. aknas muud seadistused.

3.4. Nupp „Start Measuring“/„Stop Measuring“ – alustab või lõpetab mõõtmise.

3.5. Aken – seadme mõõteparameetrite ja seadistuste kuva, mis sõltub kasutaja poolt nuppude „Operating Settings“, „Display Settings“ ja „Other Settings“ hulgast tehtud valikust (vt. Joonis 6). Selline lähenemine on vajalik ruumi kokkuhoiuks esipaneelil.

3.1 Aken „Operating Settings“ – mõõtmisseadistused.

3.1.1. Rippmenüü „Gas Type“ – gaasi tüübi valimine, millega pannakse paika konkreetsele gaasile vastavad seadme kalibratsiooni parameetrid. Saab valida õhu (air), 100% hapniku (O2) ja 100% lämmastiku (N2) vahel.

3.1.2. Lahter „Sample Rate (ms)“ – infovahetuse kiiruse ja mõõtmiste diskreetimisperioodi seadistamine vahemikus 1-1000 ms (millisekundit).

3.1.3. Lahter „Analog Span (L/min)“ – seadme voolukiiruse analoogväljundi signaali (pinge) skaleerimisteguri seadistamine vastavalt voolukiirusele vahemikus 1-100 Std L/min. Valitud voolukiirusele vastab väljundpinge 10 V. Analooväljund on vaid voolukiiruse jaoks.

3.1.4. Lahter „Analog Zero (mV)“ – seadme analoogväljundi nullpunkti seadistamine vahemikus 1- 100 mV.

3.1.5. Rippmenüü „Analog Zero Sign“ – analoogväljundi nullpunkti märgi (pinge polaarsuse) seadistamine. Saab valida positiivse ja negatiivse polaarsuse vahel.

3.1.6. Rippmenüü „Flow Type“ – seadme poolt väljastatava voolukiiruse tüübi („Standard“ või „Volumetric“) määramine, millega määratakse ka voolukiiruse ühikud. Saab valida standard voolukiiruse ehk massivoolukiirusele vastava ekvivalentse kiiruse (Std L/min) või volumeetrilise voolukiiruse ehk ruumkiiruse vahel.

3.2 Aken „Display Settings“ – ekraani seadistused.

3.2.1. Lahter „Display Update Rate (ms)“ – seadme ekraani andmete uuendussagedusele vastava perioodi määramine vahemikus 50 – 5000 ms.

3.2.2. Rippmenüü „Display Scroll Mode“ – seadme ekraanil mõõtmiste kuvamise režiimi seadistamine. On võimalik valida mitmete eri režiimide vahel, kus kuvatakse gaasi kulu, temperatuuri ja rõhu andmeid, kas ühte, mõnda või kõiki neist üksteisele järgnevalt erinevates kombinatsioonides. Korraka saab LCD ekraani väiksuse tõttu kuvada vaid üht suurust. Kuvatavate andmete vaheldumine on määratud parameetriga „Display Update Rate (ms)“.

3.2.3. Lahter „Display Scroll Cycles“ – seadme ekraanil kuvatava info vahetumise perioodi seadistamine vahemikus 1-9 korda parameetriga „Display Update Rate (ms)“ määratud ajast.

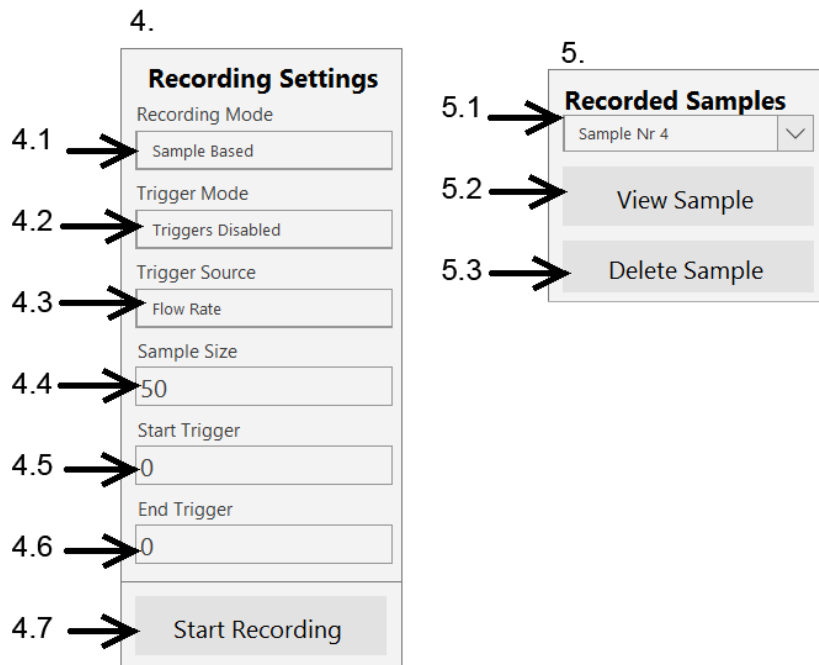
3.2.4. Rippmenüü „Display Flow Units“ – seadme ekraanil kuvatavad ühikute seadistamine (L/min või cm³/min). Punktis 3.1.6 Rippmenüü „Flow Type“ tehtud valikutest sõltub, kas kuvatakse ka standardkulule vastav märgend „Std“ või mitte.

3.3 Aken „Other Settings“ – muud seadistused.

3.3.1. Nupp „Save Settings To Device“ – kui nupp on aktiivne siis salvestatakse mõõtmise alustamisel seatud mõõtmisparameetrid seadme mälli.

3.3.2. Nupp „Load Default Settings“ – kui nupule vajutatakse siis kuvatakse kõikides punktis 3. loetletud parameetrite algseadistused ja omistatakse need parameetritele.

3.3.3. Lahter „Running Sample Average“ – jooksvalt seadme pool edastatavate andmete põhjal gaasikulu, temperatuuri ja rõhu jooksvate keskmiste arvutamiseks ettenähtud mõõtmiste arvu määramine. Kasutatakse mõõtmisinfo kuvamise aknas (vt. punkt 6) andmete keskmistamiseks.



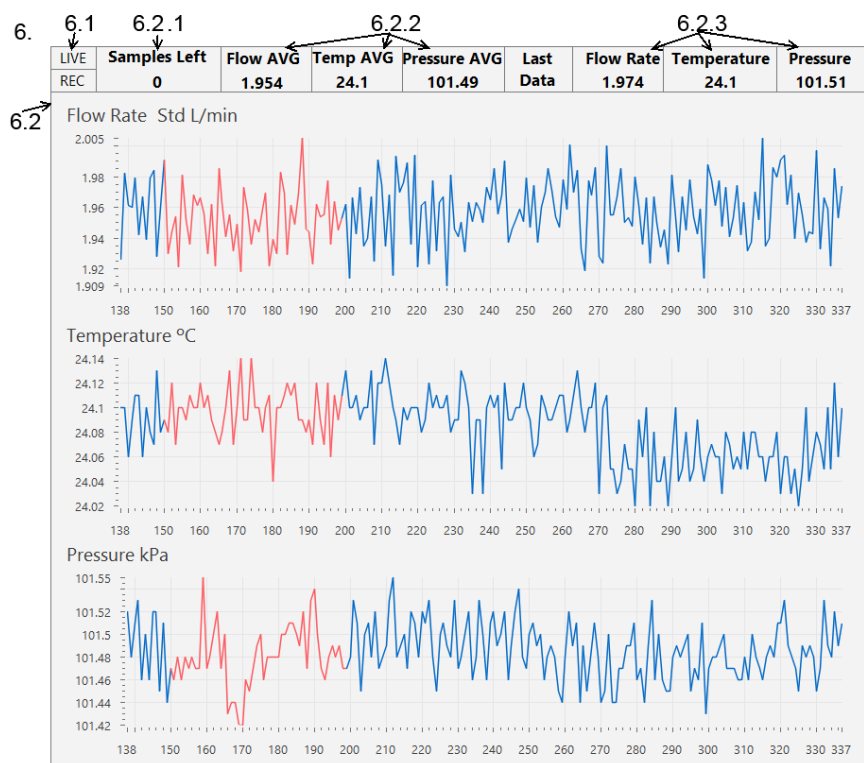
Joonis 7: Programmi esipaneeli andmete salvestamise (4. punkt), varasemate salvestatud mõõtmiste (5. punkt) ekraani osad

4. Salvestamine ja seaded – salvestamisparameetrite seadistamiseks ja salvestamise alustamiseks või lõpetamiseks mõeldud osa (vt. Joonis 7).

4.1. Rippmenüü „Recording Mode“ – saab valida andmete pideva salvestamise või etteantud mõõtmiste arvuga salvestamise režiimi vahel.

4.2. Rippmenüü „Trigger Mode“ – saab valida, kas salvestamisel kasutatakse päästikuid või mitte. Päästikute kasutamine tähendab, et andmete salvestamist alustatakse mõõdetava suuruse väärtusest, mis on suurem/võrdne (või väiksem/võrdne) kui alglävendiks („Start Trigger“) seatud väärtus ja lõpetatakse, kui see on suurem/võrdne (või väiksem/võrdne) kui lõplävendiks seatud väärtus („End Trigger“). Kui on kasutusel alglävend ja selle tingimused pole rahuldatud, siis oodatakse salvestamise alustamisega niikaua kuni see on rahuldatud. Kui kasutusel on lõplävend ja selle tingimus on täidetud, siis lõpetatakse salvestamine mõlemas salvestamise režiimis. Menüüs on olemas mitmed etteantud päästikute kombinatsioonid. Päästikuid

- kasutatakse kiirete üleminekuprotsesside andmete salvestamiseks, kui käsitsi valikute tegemine on liiga ebatäpne.
- 4.3. Rippmenüü „Trigger Source“ – saab valida kas päästikud töötavad rõhu või voolukiiruse mõõtmiste pealt.
 - 4.4. Lahter „Sample Size“ – sisaldab salvestatavate andmete mõõtmisseriesa pikkust ehk salvestuse mahtu. Kui eespool punktis 4.1 on valitud etteantud mõõtmiste arvu järgi salvestamine, siis võetakse selles lahtris olev arv salvestatavate mõõtmiste mahuks.
 - 4.5. Lahter „Start Trigger“ – päästikute lähtestamise seade. Kui eelnevalt on punktis 4.3 rippmenüüst „Trigger Mode“ valitud salvestuse alustamise päästik, siis kasutatakse selles lahtrisse sisestatud arvu päästiku läviväärtusena.
 - 4.6. Lahter „End Trigger“ – päästikute lähtestamise seade. Kui eelnevalt on punktis 4.3 kirjeldatud rippmenüüst „Trigger Mode“ valitud salvestuse lõpetamise päästik siis kasutatakse sellesse lahtrisse sisestatud arvu päästiku läviväärtusena.
 - 4.7. Nupp „Start Recording“/ „Stop Recording“ – nupp, mis alustab või lõpetab mõõtmiste salvestamise.
5. Salvestatud mõõtmised „Recorded Samples“ – varasemate andmebaasi salvestatud mõõtmiste kuvamine (vt. Joonis 7). Andmebaasist ei ole võimalik andmeid kuvada mõõtmisandmete salvestamise režiimi ajal (vt. punkt 4.7).
- 5.1. Rippmenüü „Recorded Samples“ – kuvab salvestatud mõõtmiste loetelu.
 - 5.2. Nupp „View Sample“ – nupu vajutusel kuvatakse ekraanil mõõtmisinfo kuva aknas (vt. punkt 6) eelnevalt rippmenüüst valitud (vt. punkt 5.1) mõõtmise andmed.
 - 5.3. Nupp „Delete Sample“ – nupu vajutusel kustutatakse eelnevalt rippmenüüst (vt. punkt 5.1) valitud mõõtmise andmed andmebaasist.



Joonis 8: Mõõtmisinfo kuvamise aken (6. punkt) kuvamas reaalaaja mõõtmisinfot (6.2 punkt).

6. Aken mõõtmisinfo kuvamiseks ekraanil (vt. Joonis 8). Selles aknas kuvatakse mõõtmisinfot nii reaalaaja mõõtmiste kui ka juba salvestatud mõõtmisandmete kohta, vastavalt valikutele.

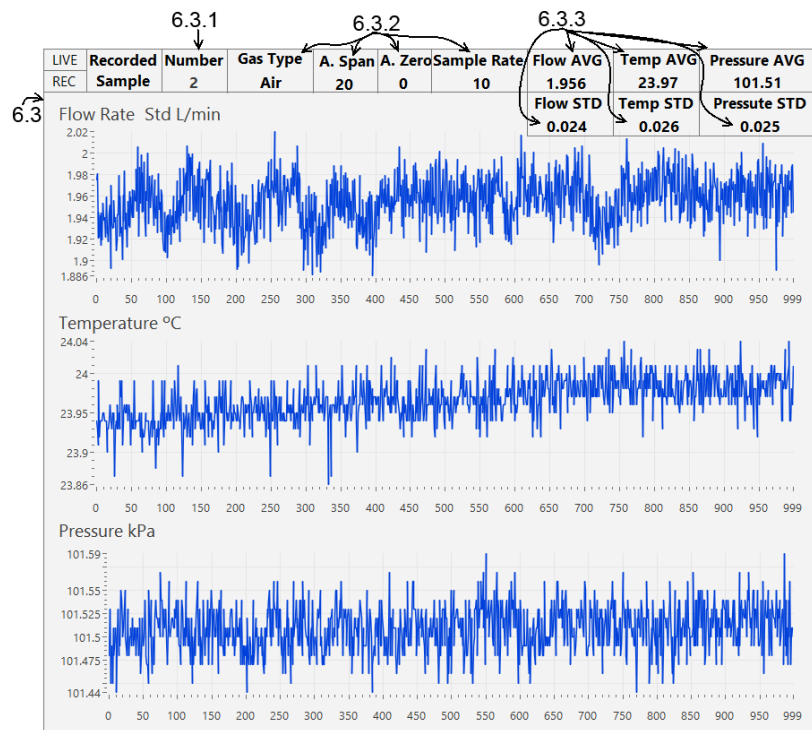
6.1. Nupud reaalaaja ja salvestatud mõõtmisandmete akende vahetamise jaoks. Vajutades akna ülaservas indikaatorite rea vasakpoolses servas paiknevale nupule „Live“ näidatakse reaalaaja mõõtmisinfot ja nupule „REC“ vajutamisel viimast andmebaasi salvestatud või sealt päritud infot, juhul kui uut salvestust pole veel toimunud. Mõõtmisi või salvestamist alustades muudetakse aken automaatselt reaalaaja mõõtmisinfo aknaks. Andmebaasist varasema info vaatamisel (vt. punkt 5) kuvatakse automaatselt varasema salvestatud informatsiooni aken.

6.2. Reaalaaja mõõtmisinfo aken. Salvestatavad mõõtmisandmed kuvatakse graafikutele eraldi punase värviga, salvestamisele mittekuuluvad jooksvad andmed aga sinise värviga, et kasutajal oleks lihtne salvestamise ajalist kulgu jälgida. Lisaks mõõdetavate suuruste (gaasikulu, temperatuur, rõhk) aegriidade graafikutele kuvatakse akna ülemisel informibal alljärgnevad spetsiifilised indikaatorid:

6.2.1. Indikaator „Samples Left“ – kasutusel etteantud mõõtmiste arvuga salvestamise režiimi korral. Näitab kui mitu mõõtmist on jäänud veel salvestamise lõpuni.

6.2.2. Jooksvate keskmiste indikaatorid – kuvavad mõõdetava gaasikulu, temperatuuri ja rõhu jooksvaid keskmisi vastavalt punktis 3.3.3 kirjeldatud keskmistatavate mõõtmiste arvu seadele.

6.2.3. Jooksvate mõõtmistulemuste indikaatorid – kuvavad mõõdetava gaasikulu, temperatuuri ja rõhu viimase mõõtmise tulemusi.



Joonis 9: Salvestatud mõõtmisinfo akna (6.3 punkt) ekraani osa

6.3. Salvestatud mõõtmisinfo aken (vt. Joonis 9) – andmebaasi salvestatud mõõtmisandmete kirjade vaatamisel (vt. punkt 5) kuvatakse info salvestuse koguperioodi kohta, sealhulgas aegridade graafikute staatiline kuva. Lisaks mõõdetud suuruste (gaasikulu, temperatuur, rõhk) aegridade graafikutele kuvatakse alljärgnevad spetsiifilised indikaatorid:

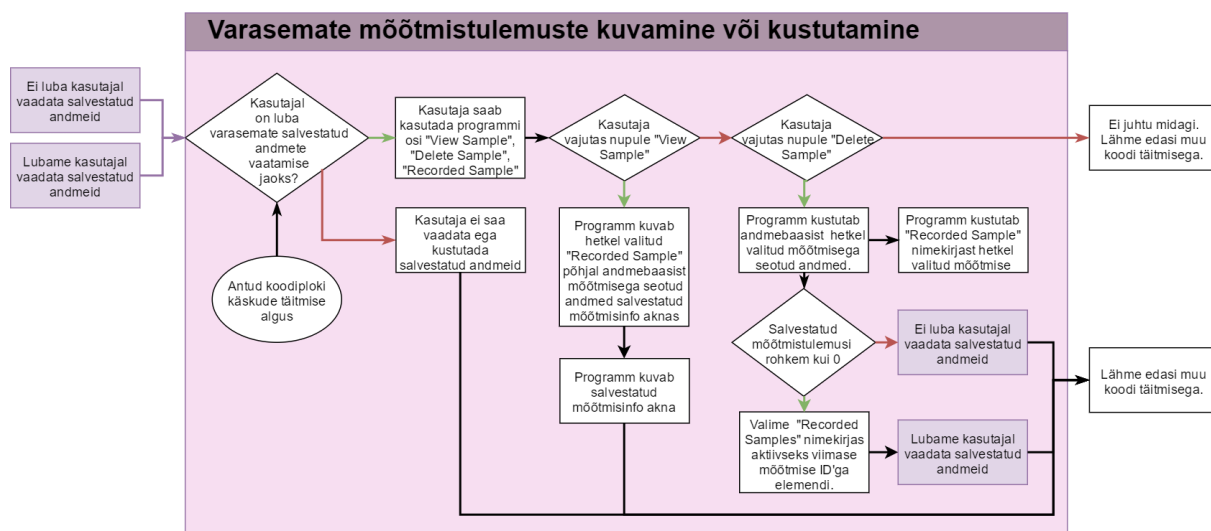
6.3.1. Salvestuse kirje indikaator – näitab salvestuse numbrit andmebaasis.

6.3.2. Mõõtmiste seadistuste indikaatorid – kuvavad antud mõõtmise seadistusi.

6.3.3. Mõõtmistulemuste indikaatorid – kuvavad gaasikulu, temperatuuri ja rõhu antud mõõtmisseeria keskmisi ja standardhälbeid.

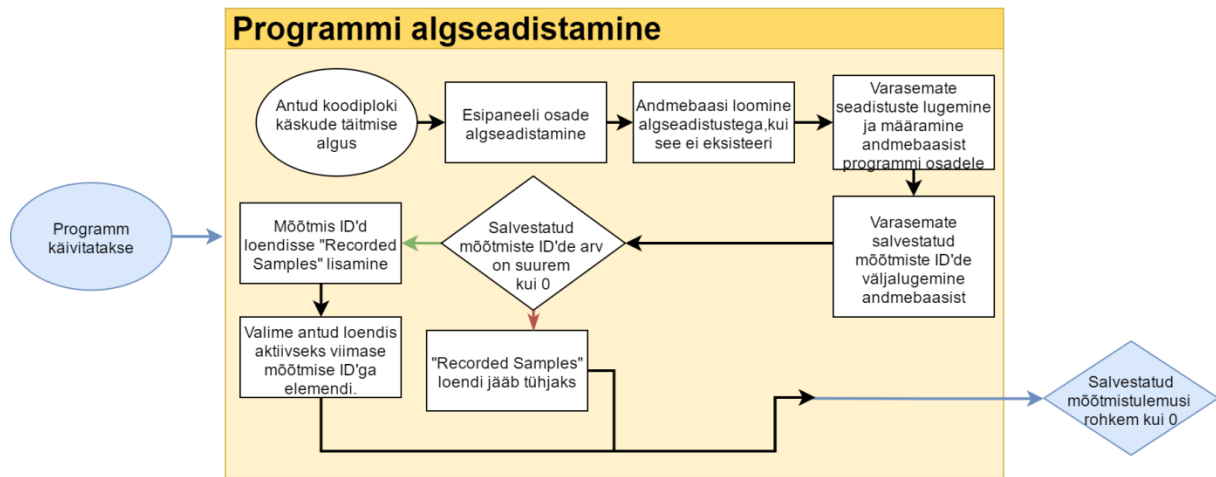
4.2.2 Mõningate programmi töö seisukohalt olulisemate plokkide selgitamine.

Järgnevad UML skeemid kirjeldavad täpsemalt tähtsamate programmi tööplokkide sisu. Plokkide sisu on kollase (va joonis 11, mis on lilla) kasti sees. Sinised jooned ja plokid määravad ära kirjeldatava plokki sisendid ja väljundid, st. millest lähtuvalt hakatakse antud plokki täitma ja kuhu peale seda suundutakse. Mustad jooned on edasimineku jaoks, rohelised vastavad jaatavale ja punased eitavale vastusele.

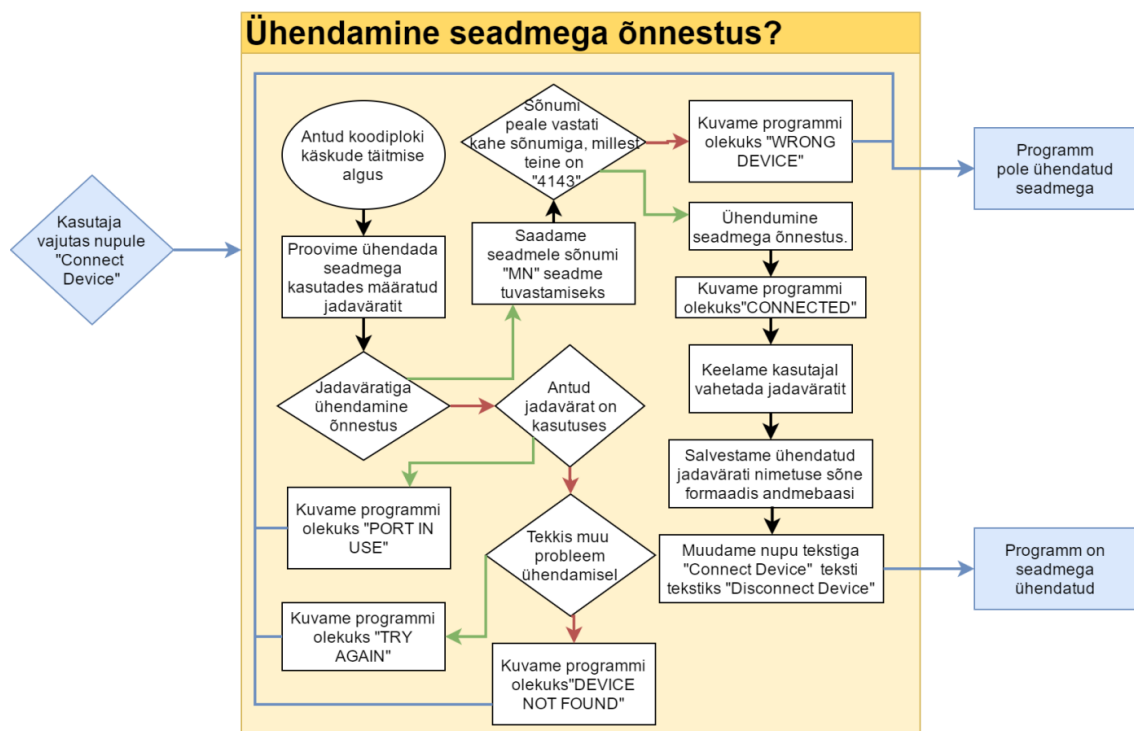


Joonis 11: UML skeemina välja toodud „Varasemate mõõtmistulemuste kuvamine või kustutamine“ plokki

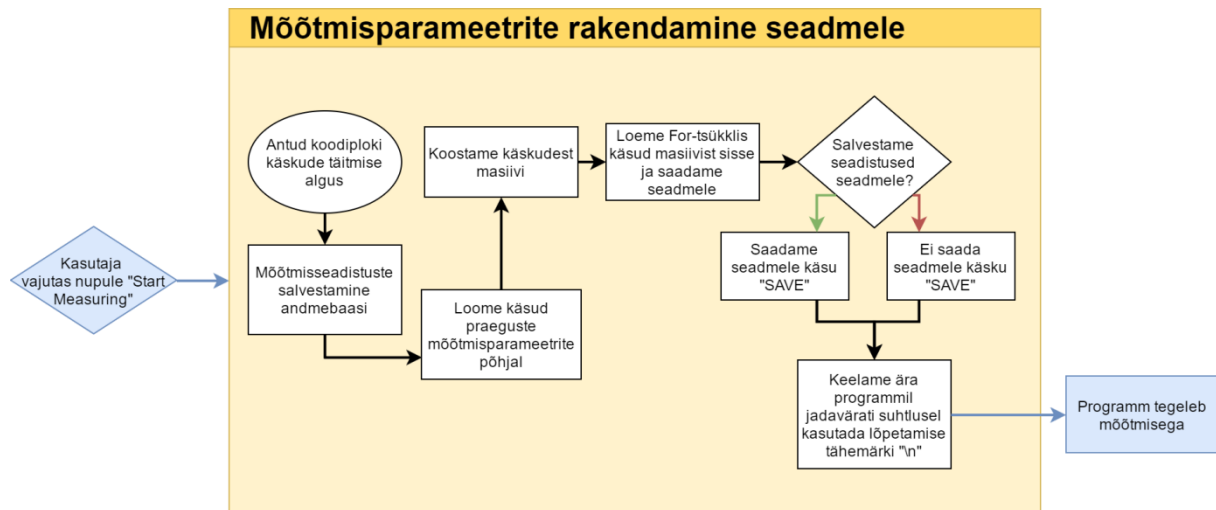
Selle plokki eesmärgiks on anda kasutajale võimalus kuvada andmebaasist varasemaid mõõtetulemusi ekraanil ja kustutada, kui programmi töövoog seda võimaldab (vt. lisaks Joonis 10. lilla värviga kastid ja LISA 2, kus on toodud LabVIEW programmikoodist ekraanitõmmis, mis vastab nupule „View Sample“ vajutamise olukorrale). Antud plokki töötab põhiskeemist eraldi ning sellele plokki tegevusi on võimalik realiseerida ainult siis, kui programm on andnud kasutajale selleks loa. Loa saamise määravad ära kaks tingimust: 1) salvestatud on vähemalt üks mõõtmine ja 2) hetkel ei tegeleta salvestatavate andmete kogumisega, st. programm ei ole salvestamise režiimis.



Joonis 12: UML skeemina välja toodud „Programmi algseadistamise“ plokk. Selle plokki eesmärgiks on lugeda andmebaasist sisse kõigi programmi esipaneelil kujutatud parameetrite (seadme töö- ja mõõtmisparameetrite, programmi salvestusparameetrite jm) algseaded ja määrata kindlaks programmi algolek. Samuti täidetakse programmi salvestatud mõõtmiste loendi andmebaasist sisseloetud identifikaatoritega (lühend “ID”, mis viitab andmebaasis olevale mõõtmise järjekorranumbrile). Sisuliselt taastatakse programmi sulgemisele eelnenud olek.



Joonis 13: UML Skeemina välja toodud „Ühendamine seadmega õnnestus?“ plokk. Antud plokki eesmärgiks on luua ühendus TSI 4143 seadmega jadavärati läbi. Kui see mingil põhjusel ei õnnestu, siis kuvatakse kasutajale programmi seisundi olekureal vastav veateade.

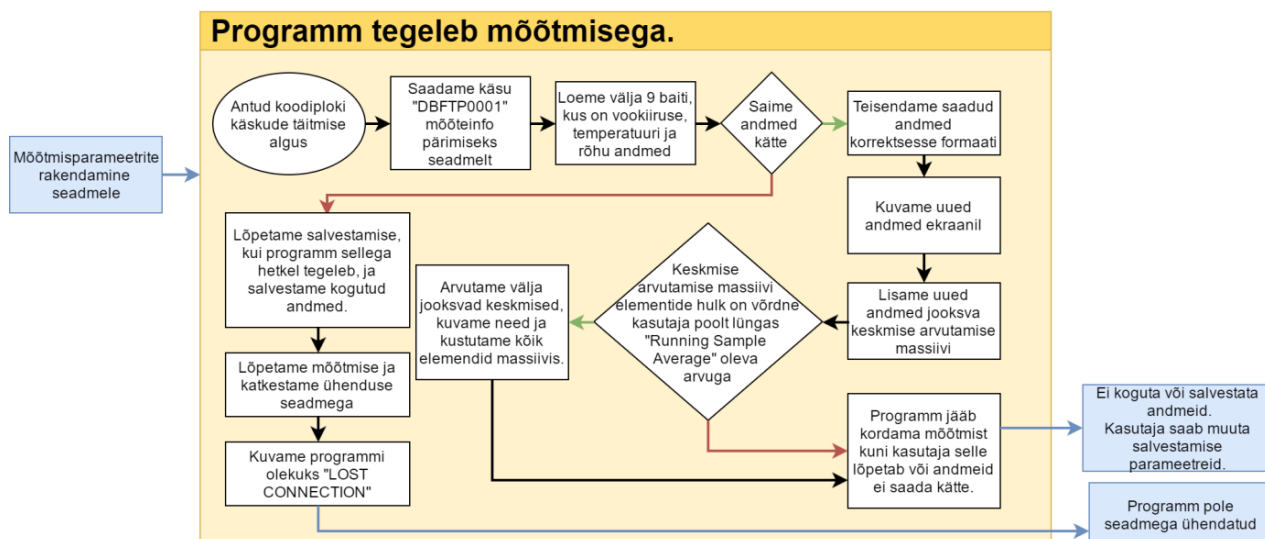


Joonis 14: UML skeemina välja toodud „Mõõtmisparameetrite rakendamine seadmele“ plokk. Selle ploki eesmärgiks on salvestada kasutaja poolt valitud mõõtmisseaded andmebaasi ja saata need seadmele. Lisaks keelatakse ära jadavärdiga suhtluses kasutusel oleva eraldaja „\n“ (reavahetuse) kasutamine, mis tekitab probleeme mõõtmisinfo binaarsel lugemisel seadmelt.

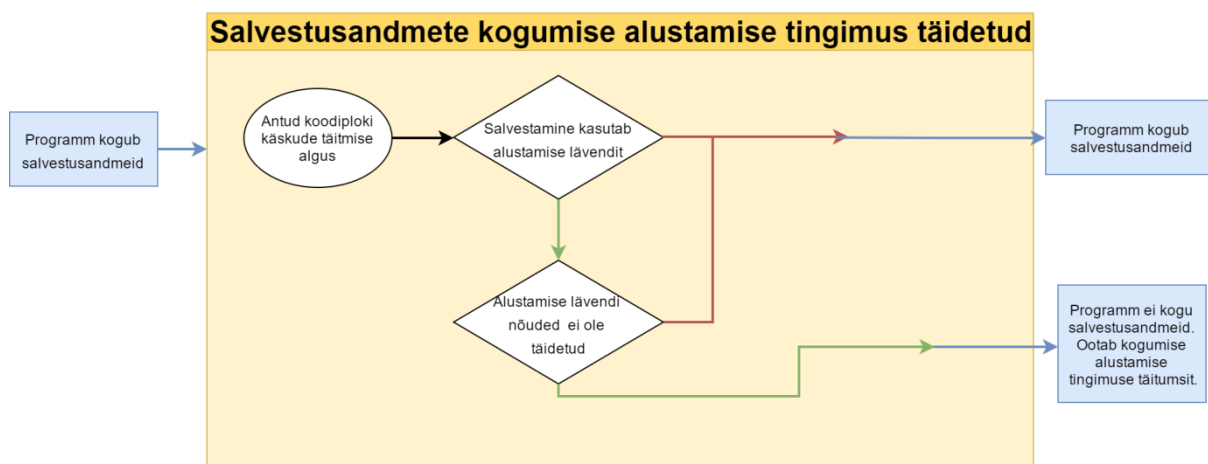
NR	KÄSK	Para-meeter	Kust võetakse parameetri andmed (esipaneeli osad)	Mille jaoks saadetakse käsk
1	SSR	nnnn	Programmi poolt sisestatud 0010	Et seadistused saaksid saadetud kiirelt, sõltumata kasutaja poolt valitud kiirusest.
2	SDM	FTPn	„Display Scroll Mode“ + „Display Scroll Cycles“	Seadme LCD ekraanil mõõtmiste (gaasikulu, temperatuur, rõhk) kuvamise viisi ja kuvamise perioodi (n) seadistamine
3	SG	n	„Gas Type“	Gaasi tüübi (kalibratsiooni) seadistamine (õhk, O ₂ , H ₂)
4	SU	n	„Flow Type“	Mõõdetava gaasivoolu ühikute määramine (Std L/min, L/min)
5	SUR	nnnn	„Display Update Rate (ms)“	Seadme LCD ekraani (displei) andmete uuendamise kiiruse määramine
6	SAS	nnn	„Analog Span(L/min)“	Voolukiiruse analoogväljundi skaleerimise seadistamine; 010 vastab 10 Std L/min
7	SDU	n	„Display Flow Units“	Ekraanil kuvatava gaasivoo mõõteühikute seadistamine. 0 = L/min ja 1 = cm ³ /min.
8	SAZ	~nnn	„Analog Zero Sign“ + „Analog Zero (mV)“	Analoog väljundi nullpunkti seadistamine
9	SSR	nnnn	„Sample Rate (ms)“	Kasutaja poolt valitud andmete edastamiskiiruse seadistamine. 1 – 1000 ms mõõtmise kohta

Tabel 1: Mõõteseadmele saadetavad käsud mõõtmiste alustamisel.

Siin tabelis on ära toodud seadmele saadetavad käsud (järjestuses ülevalt alla). Käsud saadetakse ükshaaval koos vastava parameetri koodiga ja lisades käsu lõppu koodi CR LF (reavahetuse ja uue rea alustamise kood).

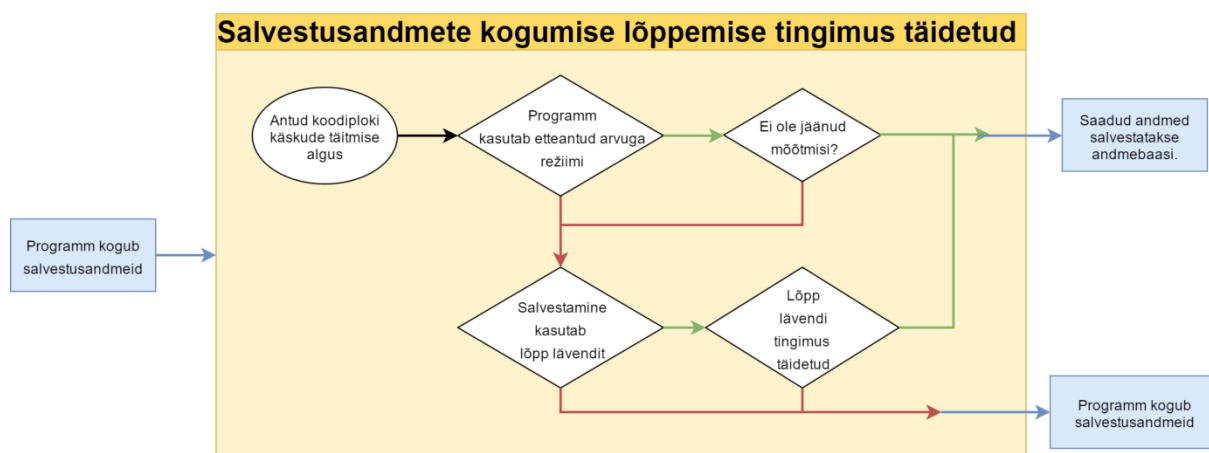


Joonis 15: UML Skeemina välja toodud „Programm tegeleb mõõtmisega“ plokk Mõõtmiste ja mõõtmisandmete ekraanil kuvamisega tegelev plokk. Käsk DBFTP0001 tähistab seadmest gaasikulu, temperatuuri ja rõhu mõõtmisandmete küsimist binaarsel kujul ühe mõõtmise kohta (vt. lisaks LISA 3, kus on ekraanitõmmis LabVIEW koodist, mis tegeleb mõõtmisega).



Joonis 16: UML Skeemina välja toodud „Salvestusandmete kogumise alustamise tingimus täidetud“ plokk.

See plokk määrab ära, kas alustatakse kohe salvestusandmete kogumisega või jäädakse ootama kuni tegevuse alustamise lävendi („Start Trigger“) tingimus on täidetud.



Joonis 17: UML Skeemina välja toodud „Salvestusandmete kogumise lõppemise tingimus täidetud“ plokki.

See plokki määrab ära, kas lõpetada salvestusandmete kogumine ja need salvestada need andmebaasi või mitte. Arvestatakse mõõterežiimiga valikuga ja lõpplävendiga („End Trigger“).

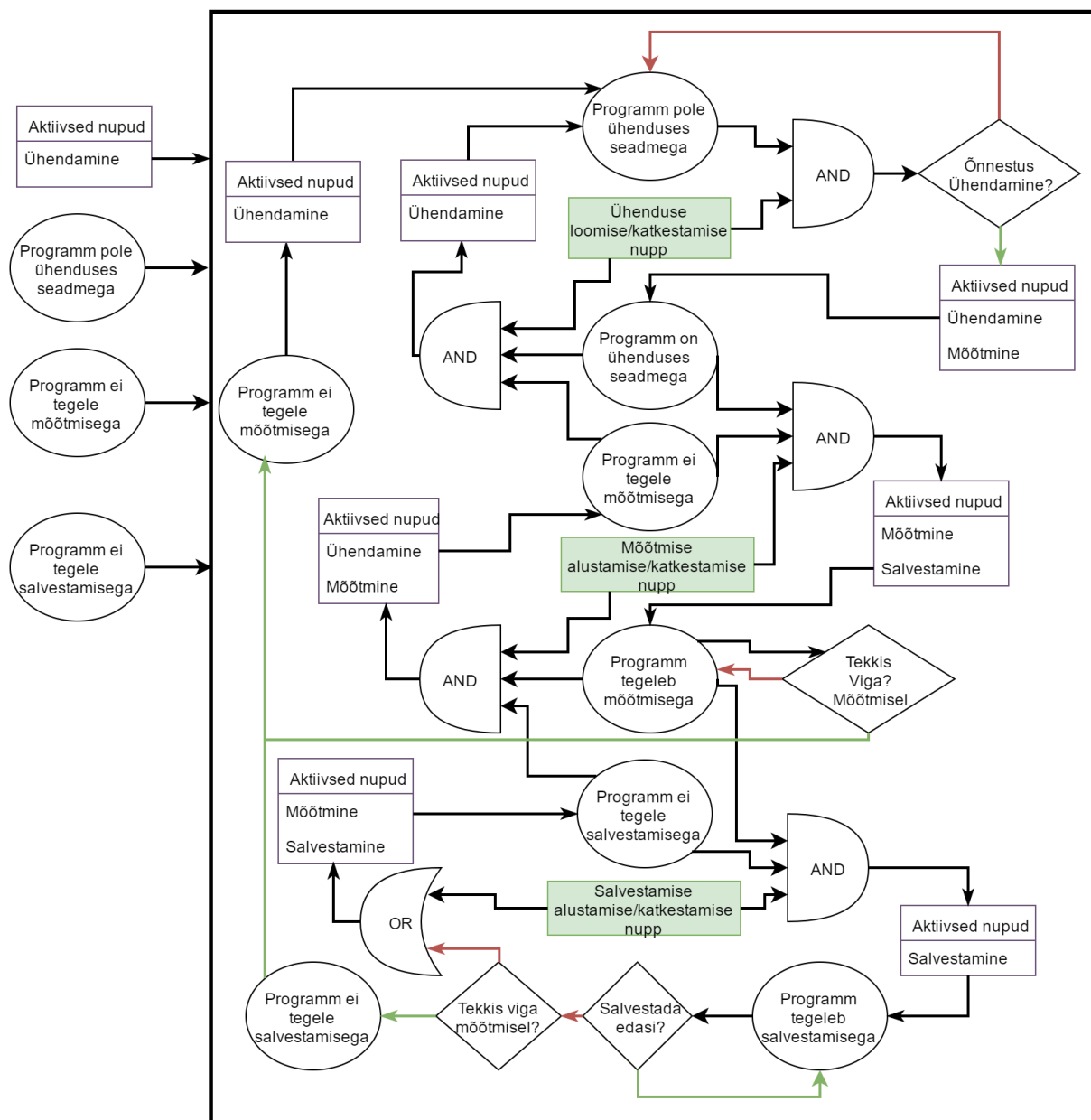
4.2.3 Programmi juhtimise ülesehitus

Programmi juhtimiseks on while-tsüklis kolm valikustruktuuri, mille olekuid on võimalik kasutaja poolt muuta, tehes valikuid programmi juhtimispaneelil asuvate konkreetsete valikstruktuuridega seotud nuppude abil (vt. Tabel 2). Kui valikstruktuuri olek muutub, siis muutub ka sellega seotud nupu tekst. Neid nuppe on võimalik vajutada programmi töö kindlate olekute juures, kui need on aktiivsed. Mitteaktiivse seisundi tunnuseks on hallis toonis nupu kiri. Näiteks pole võimalik vajutada seadme ühendamise seotud nuppu „Connect Device/ Disconnect Device“, kui programm tegeleb parajasti salvestamisega andmete kogumisega, st. on salvestamise režiimis. Valikstruktuurid koos nende olekute ja seotud nuppude tekstidega on ära toodud tabelis 2 ja töötamist kirjeldav lihtsustatud põhimõtteskeem on joonisel 18.

Valikustruktuur	Valikstruktuuri olekud	Seotud nupul teatud olekus olev tekst
Ühendamine	<ul style="list-style-type: none"> Programm pole ühenduses seadmega Programm on ühenduses seadmega 	„Connect Device“ „Disconnect Device“
Mõõtmine	<ul style="list-style-type: none"> Programm ei tegele mõõtmisega Programm tegeleb mõõtmisega 	„Start Measuring“ „Stop Measuring“
Salvestamine	<ul style="list-style-type: none"> Programm ei tegele salvestamisega Programm tegeleb salvestamisega 	„Start Recording“ „Stop Recording“

Tabel 2: Programmi tööolekute sidusus programmi juhtpaneeli nuppudega.

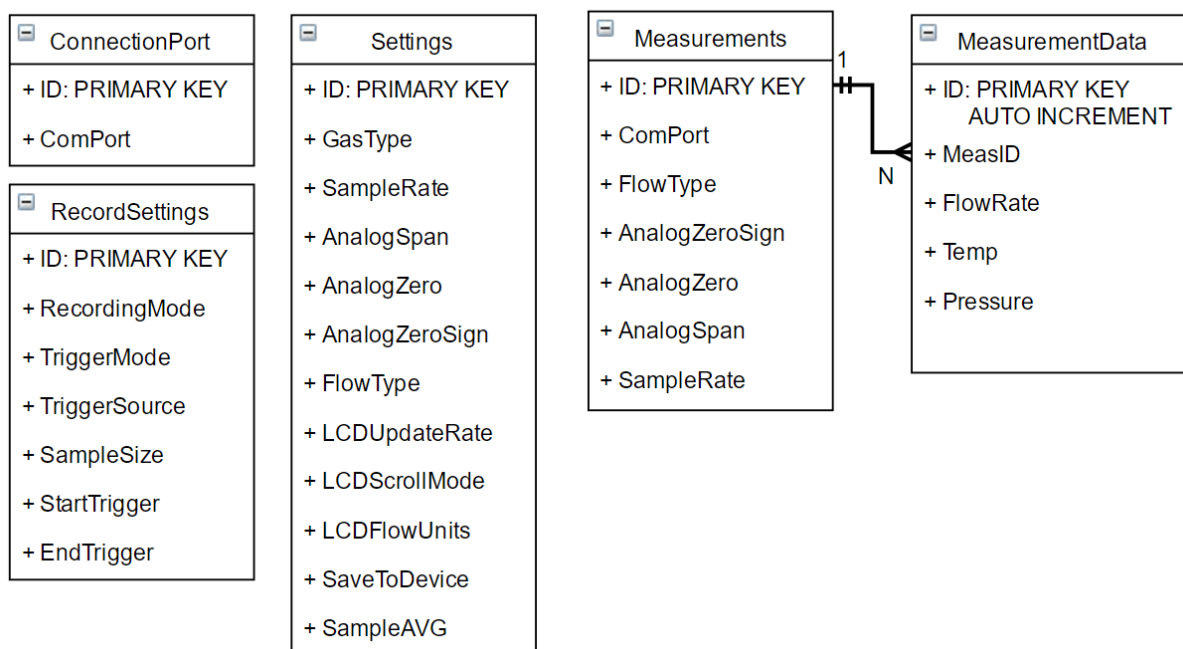
While-tsükkel



Joonis 18: Programmi töötamist kirjeldav lihtsustatud põhimõtteskeem. Vasakul äärel olevates ovaalsetes ringides on kirjas programmi valikstruktuuride algolekud ja skeemil tabelis „Aktiivsed nupud“ on aktiivsed nupud. Rohelise taustaga ruudud on programmi juhtnupud ja nende aktiivsus on ära määratud skeemil olevate tabelite „Aktiivsed Nupud“ järgi. OR ja AND kujutavad endast loogilisi lülitusi. Lülituse AND korral peavad sündmuse realiseerumiseks olema täidetud kõik sisend tingimused, lülituse OR korral peab olema täidetud üks, teine või mõlemad tingimustest.

4.2.4 SQLite andmebaas

Programmi ja seadme seadistuste ja mõõteinfo salvestamiseks on kasutusel vabavaralise SQLite andmebaasisüsteemi abil loodud andmebaas, mis on põimitud LabVIEW programmi. SQLite andmebaasi ühendamine LabVIEW graafilise keskkonnaga on tehtud Dr. James Powell'i SQLite teegi läbi. [17] SQLite andmebaasi korral ei ole tegemist ühest tabelist koosneva nn lameandmebaasiga, vaid mitmetest üksteisega seostatud tabelitest koosneva relatsioonilise andmebaasiga. Joonisel 19 on ära toodud, milliseid andmebaasitabeleid antud programm kasutab ja lahti kirjutatud nende struktuur. Tabelid „ConnectionPort“, „Settings“, „RecordSettings“ on vastavalt andmehõive jadavärati, mõõteseadme seadistuste ja salvestuste seadistuste andmete jaoks ja tabelid „Measurements“ ja „MeasurementData“ on mõõteinfo jaoks. Kui andmebaas peaks programmi käivitamisel puuduma, näiteks kasutaja poolt selle ekslikul kustutamisel või ümbernimetamisel, siis luuakse see uuesti. Lisaks vaadatakse üle kõik tabelid ja kui mõni on puudu, luuakse see vastavalt vaikeseadistustele. Pärast seda laetakse kõik seadistused ja salvestatud mõõtmiste loend andmebaasist programmi.



Joonis 19: Programmis kasutusel olev SQLite andmebaasi tabelite skeem. Praktikas on tabelid realiseeritud nii, et igale tabeli parameetrile vastab andmetabeli üks tulp (veerg)

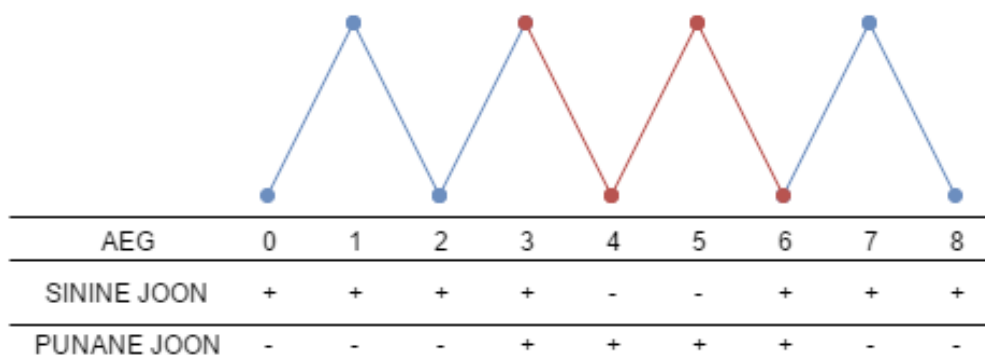
Seadistuste tabelites („ConnectionPort“, „Settings“, „RecordSettings“) on kasutusel ainult esimesed read seadistuste salvestamiseks. Tabelit „ConnectionPort“ kasutatakse seadme pordi andmete salvestamise jaoks. Antud tabelit uuendatakse ainult siis, kui seadmega ühendamine

antud pordi korral õnnestus. „Settings“ tabelit, mida kasutatakse seadme mõõteparameetrite salvestamise jaoks, uuendatakse siis, kui kasutaja alustab mõõtmist. „RecordSettings“ tabelit kasutatakse kasutaja poolt valitud salvestusparameetrite ja -tingimuste seadistuste jaoks ja seda uuendatakse igakord, kui alustatakse salvestamist.

Mõõteinfo salvestamiseks kasutusel olevaid tabeleid „Measurements“ ja „MeasurementData“, mis on omavahel 1:N seoses vastavate tabelite ridade (tunnuste) „Measurements.ID“ ja „MeasurementData.measID“ kaudu, täiendatakse uute kirjetega siis, kui on jõutud edukalt salvestamise lõppfaasi. Uue mõõteseeria salvestuse kirje numbriga ehk identifikaatori (ID) jaoks võetakse tabelist „Measurements“ kõige suurema ID-ga kirjele vastav ID ja suurendatakse seda ühe võrra. Uut ID-d kasutatakse vastavate seadistuste salvestamiseks tabelis „Measurements“ ja kõikide mõõteseeria punktide jaoks tabelis „MeasurementData“. Uued mõõtepunktid salvestatakse andmebaasi nende registreerimise ajalises järjekorras, et hilisemal mõõteinfo kuvamisel andmebaasist oleksid graafikud samasugused nagu salvestamise ajal. Mõõtmiste aeg on määratud parameetriga „SampleRate“ tabelis „Measurements“. Kui kasutaja soovib teatud mõõtmiseseeria tulemused kustutada, siis kustutatakse kõik selle mõõtmise ID-ga seotud andmed tabelitest „Measurements“ ja „MeasurementData“.

4.2.5 Jooksva graafiku kuvamine ekraanil.

Mõõteinfo jooksvaks kuvamiseks kasutab programm LabVIEW poolt pakutavat graafikut „Waveform Chart“. See graafik võimaldab kuvada jooksvalt registreeritud andmeid õiges ajalises järjestuses, nihutades mõõtmispunkte uute andmete saabumisel ühe koha võrra vasakule ja lisades viimasena saadud andmed graafiku lõppu. Ka on võimalik antud graafikul kuvada mitut erinevat joont samaaegselt. Nii on antud programmi korral kasutatud kahte joont: punast joont salvestatavate andmete ja sinist joont tavaliste mõõtmisandmete (mitte salvestatavate andmete) jooksvaks kuvamiseks. Pideva üleminekuga sini-punase joone kuvamiseks on vaja, et üleminekul ühest režiimist teise kuvataks antud punktis mõlema joone jaoks punkt, et joon ei oleks katkendlik (vt. Joonis 20). Programm hakkab punast joont kuvama siis, kui see on salvestusandmete kogumise olekus ja salvestatavate andmete hulk on võrdne ühega. Kui programm lõpetab salvestamise saadakse sellest aga sinise joone kuvamise alustamiseks üks takt hiljem teada (Joonisel 20 punkt AEG 7), mistõttu graafikule tekiks „auk“ sinise ja punase joone vahele (Joonisel 20 punktide AEG 6 ja AEG 7 vahel). Selle, aeglasemate mõõtmiste korral mõnevõrra häiriva iluuea kõrvaldamiseks tehakse parandus, kus sinisele joonele lisatakse eelmisele taktile (Joonisel 20 punkt AEG 6) vastav punkt juurde ja kirjutatakse graafikul kujutatavad andmed üle. Programmitehniliselt teostatakse see operatsioon LabView graafiku „Waveform Chart“ puhvris olevate andmetega nii kiiresti, et see jääb kasutajale märkamatuks.

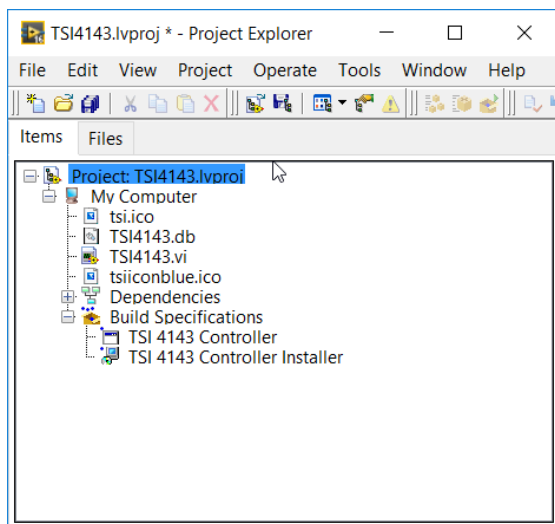


Joonis 20: Ekraanil kuvatava jooksva graafiku ajalise kujutamise põhimõtteskeem. Punane joon vastab programmi salvestatavate andmete kogumise ja sinine joon tavalisele mõõtmisandmete (mitte salvestatavate andmete) kuvamise režiimile.

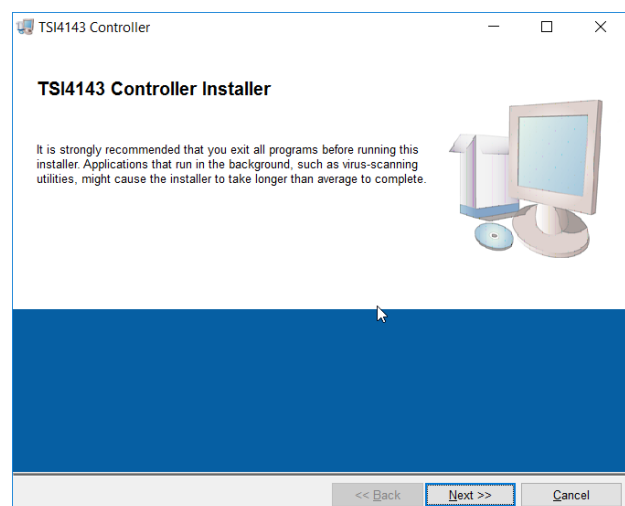
4.3 Programmi installer

Võimaldamaks TSI 4143 juhtimisprogrammi kasutamist teistes arvutites, kus puudub LabVIEW, sai loodud programmi paigaldus- ehk installeerimistarkvara (inglise keeles „installer“), lühendatult installiprogramm. See installiprogramm paigaldab konkreetseesse arvutisse TSI 4143 juhtimise tarkvara koos selle programmi ikooni ja andmebaasifailiga.

Installeerimistarkvara loomiseks sai kasutatud niinimetatud LabVIEW projekti loomise võimalust. Antud projekti lisati loodud LabVIEW programmi graafilise koodi VI-fail andmebaasifail ja ikoon. Antud failide põhjal koostati EXE-fail, kuhu pakiti kaasa kõik programmi töötamiseks vajalikud failid. Selle EXE-faili põhjal loodi ka installiprogramm, et kasutaja saaks automaatselt TSI 4143 juhtimisprogrammi arvutisse installeerida. Installiprogramm võimaldab antud programmi installeerida Windows 7 või hilisemate Windowsi operatsioonisüsteemidel töötavate arvutite peale. Lisaks on kaasa pakitud täiendavad installiprogrammi osad, nagu näiteks firma National Instruments pakett NI-VISA Runtime [18], mis pakib endaga kaasa kõik välisseadmetega suhtlemiseks vajalikud failid (draiverid).



Joonis 21: Seadme TSI 4143 juhtimistarkvara paigaldamiseks loodud LabVIEW programmi projekti faili ja selle osade kuva.



Joonis 22: Seadme TSI 4143 juhtimistarkvara paigaldamise installeerimisprogrammi akna kuva.

4.4 Programmi kiirkasutusjuhend

Antud tarkvara kasutamiseks valmis kiirkasutusjuhend, mis kirjeldab programmi „TSI 4143 Controller“ kõige olulisemaid osi ja funktsioone mida nende abil võimalik teha on. Kasutusjuhend on mõeldud esmaseks tutvumiseks programmiga ja seadmega töö alustamiseks.

„TSI 4143 Controller“ tarkvara kasutusjuhend

Status Connected

Olek

Siin kuvatakse programmi praegune olek ja ühendatus mõõteseadmega. Programmi käivitamisel on olekuks „Disconnected“. Seadmega ühenduse loomisel saab olekuks „Connected“, kui aga mingil põhjusel ühendumine nurjus, näidatakse siin vastavat põhjust. Kui programm tegeleb mõõtmisega, kuvatakse olekuks „Measuring“. Salvestamise ajal on olekuks „Recording“ ja kui oodatakse salvestamise alustamist on olekuks „Recording Waiting“. Kui mingil põhjusel peaks mõõtmise ajal tekkima tõrge seadmelt info saamisel, kuvatakse olekuks „Lost Connection“.

Ühendamine

Siin saab valida seadmega ühendamise pordi ja luua ühenduse antud pordiga vajutades nupule „Connect Device“. Kui ühendamine seadmega õnnestus, kuvatakse programmi olekuks „Connected“. Kui mitte, siis kuvatakse programmi olekuks vastav kirje, miks seadmega ühendust ei saadud.

Select Device Port

COM10

Disconnect Device

Operating Settings

Display Settings

Other Settings

Display Update Rate (ms)

500

Display Scroll Mode

Flow only

Display Scroll Cycles

1

Display Flow Units

L/min

Start Measuring

Mõõtmine ja parameetrite seadmine

Siit saab valida erinevate mõõtmisparameetrite vahel. Peale seadistuste valimist või vaikimisi etteantud väärtusi kasutades saab alustada mõõtmist vajutades nupule „Start Measuring“. Kui seade mõõdab, saab lõpetada mõõtmise vajutades nupule „Stop Measuring“. Kui seade tegeleb mõõtmisega, ei ole kasutajal võimalik katkestada ühendust seadmega enne mõõtmise lõpetamist. Esimeses menüüs „Operating Settings“ on seadme olulisemate töö- ja mõõtmisparameetrite valikud: gaasi tüüp, infovahetuse kiirus, väljastatavate analoogsignaali seaded,

gaasikulu ühikute (mahu- või massikulu) valik. Teises menüüs „Display Settings“ on seaded, mis mõjutavad mõõteseadme LCD ekraani seadistusi (info kuvamise kiirust) ja seal kuvatavat infot (gaasikulu, temperatuur või rõhk) ja ühikuid. Viimases menüüs „Other Setting“ on kaks nuppu. Esimene nupp „Save Settings To Device“ salvestab kasutaja poolt eelnevalt valitud seaded seadme mälli. Teine nupp „Load Default Settings“ kuvab kõikides lahtrites valmistajatehase poolt antud vaike-seaded. Lahter „Running Sample Average“ määrab mõõtmisinfori kuvamise akna ülemisel inforibal kuvatavate gaasikulu, temperatuuri ja rõhu jooksvate keskmiste („Flow AVG“, „Temp AVG“, Pressure AVG“ arvutamiseks kasutatava valimi suuruse (mõõtmiste arvu). Mõõtmine ei tähenda automaatselt ka mõõtmisandmete salvestamist, selleks tuleb käivitada salvestamine „Start Recording“ (vt. järgmine punkt).

Salvestamine

Salvestamiseks kogutavate andmete mõõtmisprotsessi juhtimine toimub selles plokis. Siin saab seadistada erinevaid salvestamise parameetreid ja alustada või lõpetada salvestamist. Võimalik on teha pidevmõõtmisi, valides menüüst „Recording Mode“ pidevmõõtmiste režiimile vastava valiku „Continuous“ või sarimõõtmisi, valides „Sample Based“. Pidevmõõtmised käivitatakse nupust „Start Recording“ ja lõpetatakse nupule „Stop Recording“ vajutades. Füüsiliselt on tegemist sama nupuga, mille funktsioon ja millel olev kiri on pärast salvestuste käivitamist muutunud. Sarimõõtmiste korral sooritatakse etteantud kindel arv mõõtmisi, mis määratakse kindlaks lahtrisse „Sample Size“ sisestatud mõõtmiste arvuga, pärast mida salvestamine katkestatakse automaatselt. Lisaks on võimalik kasutada salvestatavate mõõtmiste alustamiseks ja/või lõpetamiseks trigereid (päästikuid). Lahtri „Trigger Mode“ rippmenüüst on võimalik valida kõikvõimalikud trigerite kombinatsioonid. Sellisel juhul trigerite lülitamisväärtused sisestatakse lahtritesse „Start Trigger“ ja „End Trigger“. Millise mõõdetava suuruse järgi (gaasikulu või rõhk) trigereid seatakse, on valitav lahtris „Trigger Source“. Salvestatavate andmete kogumist saab alustada ainult siis, kui mõõtmised on käivitatud („Start Measurements“). Kui salvestatavate andmete kogumise ajal peaks tekkima viga seadmelt mõõtmisinfori saamisel, siis lõpetatakse protsess, salvestades selleks hetkeks kogutud andmed. Kasutaja ei saa lõpetada mõõtmist, kui programm tegeleb salvestatavate andmete kogumisega, ootab selle lõpetamise või ootab salvestamise taga. Salvestamise režiimis (oleku tunnus „Recording“) on kõik teised

Recording Settings	
Recording Mode	<input type="text" value="Sample Based"/>
Trigger Mode	<input type="text" value="Triggers Disabled"/>
Trigger Source	<input type="text" value="Flow Rate"/>
Sample Size	<input type="text" value="50"/>
Start Trigger	<input type="text" value="0"/>
End Trigger	<input type="text" value="0"/>
<input type="button" value="Start Recording"/>	

programmi poolt pakutavad võimalused (seaded ja andmebaasist kirjade lugemine) keelatud, et tagada häireteta andmevahetus seadmega TSI 4143.

Recorded Samples

Sample Nr 4

View Sample

Delete Sample

Salvestatud mõõtmised

Siin saab vaadata varasemalt andmebaasi salvestatud mõõtmistulemusi ja vajadusel neid kustutada, vajutades vastavalt nupule „View Sample“ või „Delete Sample“. Andmebaasi salvestatud kirjeid saab valida rippmenüüst „Recorded Samples“.

Mõõtmistulemusi saab vaadata ainult siis, kui programm ei tegele hetkel salvestatavate andmete kogumisega ega mõõtmistulemuste salvestamisega, st. programm ei ole salvestamisrežiimis (oleku tunnus „Recording“). Mõõtmisrežiimis (oleku tunnus „Measuring“) saab vabalt ka andmebaasikirjeid vaadata.

Mõõtmistulemuste kuva aknad

Siin saab näha seadmest tulevat mõõtmisinfort ja varasemalt salvestatud mõõtmistulemusi, nii numbrilisel kui ka graafilisel kujul. Vajutades akna üleval vasakus nurgas olevale nupule „LIVE“ kuvatakse seadmest tuleva mõõtmisinfori aken ja nupu „REC“ vajutamisel saab näha varasemalt andmebaasi salvestatud mõõtmistulemusi. Seadmest tuleva mõõtmisinfori aknas kuvatakse andmed



graafikul punase joonega, kui tegeletakse salvestatavate andmete kogumisega, st. programm on salvestamisrežiimis (oleku tunnus „Recording“), vastasel korral kuvatakse andmed sinise joonega (oleku tunnus „Measuring“). Lisaks näidatakse selle akna ülemisel inforibal kuvatava gaasikulu, temperatuuri ja rõhu hetkväärtustele ka nende jooksvaid keskmisi tulemusi olenevalt kasutaja poolt valitud andmete keskmistamise määrale. Salvestatud mõõtmistulemuste aknas kuvataval ülemisel inforibal on gaasikulu, temperatuuri ja rõhu keskmised ja standardhälbed leitud kõigi salvestatud andmerea punktide alusel.

4.5 Loodud tarkvara kasutamise eelised.

Käesoleva töö tulemusena loodud LabVIEW graafilisel programmeerimiskeskkonnal põhinev tarkvara parandab oluliselt gaasi kulumõõtja TSI 4143 poolt võimaldavate funktsionaalsete omaduste kasutamist gaasikulu, temperatuuri ja rõhu mõõtmisel, võrreldes seadmel endal realiseeritud võimalustega. Tarkvara kasutamine annab selle kasutajale järgmised eelised:

- Ei ole tarvis kasutada mõõtmisprogrammist eraldi firma TSI Inc poolt pakutud seadmega kaasas olnud gaasi kulumõõtja TSI 4143 mõõteparameetrite seadistusprogrammi „TSI setup.exe“, kuna selle funktsioonid on integreeritud uude loodud mõõteprogrammi „TSI 4143 Controller“.
- Programm annab kasutajale teada, kui seadmega ühendumine õnnestus ja salvestab kasutatud jadapordi andmed järgimisteks kasutuskordadeks, võimaldades seeläbi kiiremat ja mugavamalt ühendamist mõõteseadmega.
- Võimaldab muuta seadme olulisemaid mõõtmisparameetreid (seadeid) ja salvestab need andmebaasi. Mõõtmise alustamisel saadetakse kõik valitud mõõtmisparameetrid seadmele, mistõttu ei ole vaja seadistusi seadmesse eraldi salvestada, kui selleks ei ole erivajadust.
- Erinevalt gaasikulumõõtja TSI 4143 andmekuvast LCD displeil, kus on võimalik pidevalt kuvada vaid ühte mõõdetavatest parameetritest (gaasikulu, temperatuur ja rõhk) või järgemööda nende parameetrite mingit etteantud kombinatsiooni, on mõõtmisprogrammi abil võimalik korraga jälgida ja registreerida kõiki kolme suurust.
- Programm arvutab ja kuvab mõõdetavate suuruste (gaasikulu, temperatuur ja rõhk) jooksvaid keskmisi, vastavalt kasutaja poolt etteantud keskmistamise määrale. Kasutaja saab täpsemaid tulemusi juba koheselt mõõtmisprotsessi ajal.
- Programm arvutab ja kuvab mõõtmisreeja põhjal arvutatud suuruste (gaasikulu, temperatuur ja rõhk) keskväärtused ja nende standardhälbed, mille alusel saab hinnata mõõdetavate suuruste mõõtemääramatust (hajuvust).
- Mõõtmisparameetrite graafiline kuva lubab kasutajal hinnata mõõdetavate suuruste stabiliseerumiseks kuluvat aega, mis on tingitud uuritavate seadmete töörežiimide muutustest ja ümberlülitamistest, millega kaasnevad mõõdetavate parameetrite (gaasikulu, temperatuur ja rõhk) muutused.
- Trigerite (päästikute) kasutamine annab kasutajale täiendavaid võimalusi mõõtmisprotsessi automatiseerimiseks.

- Programm laseb kasutajal salvestada mõõtmisinfot andmebaasi selle hilisemaks kuvamiseks ja analüüsiks, vajadusel kustutada mittevajalikke andmekirjeid.
- Mõõdetavate suuruste kolmiku (gaasikulu, temperatuur ja rõhk) andmete registreerimine ja salvestamine võimaldab võrrelda erinevates tingimustes (temperatuur ja rõhk) mõõdetud gaasikulusid vastava teisendusvalemi abil.
- Paraneb seadme kasutusmugavus ja kasutaja töökaitsealne ohutus. Kasutaja saab mõõtmisi jälgida distantsilt, ei pea viibima seadmete vahetus läheduses, kus eksperimentide korral on teisi, ka mürarikkaid seadmeid ja muid ohu allikaid. Kasutaja ei pea mõõtmisandmeid lugema seadme väikeselt LCD displeilt ja neid registreerima, mis on aeganõudev ja silmadele väsitav tegevus.

4.6 Tarkvara edasiarenduse võimalused.

Antud tarkvarale on võimalik luua järgnevad täiendused, et tagada parem tugi antud programmi kasutamisel.

- Rakenduse loomine veebilehelt andmete vaatamiseks ja seadme juhtimiseks.
 - Laseb kasutajal antud seadet juhtida ja mõõtmisandmeid koguda/vaadata distantisilt, sõltumata asukohast ja kasutaja kohalolekust, kasutades arvutit või nutiseadet. See on eriti aktuaalne kaugel välibaasis läbiviidatavate mõõtmiste korral, kus seadmete operaatorit ei pruugi alati kohal olla.
- Mõõtmistulemuste eksportimine andmebaasist csv-formaadis.
 - Võimaldab kasutajal kasutada andmeid mitmeteks eesmärkideks, kas siis TSI 4143 gaasikulumõõture andmete järelanalüüsiks, täiendavaks andmeanalüüsiks koos uuritava seadme teiste mõõtmisandmetega, andmete saatmiseks teistele kasutajatele või millekski muuks.
- Teiste TSI õhukulumõõture mudelite integreerimine programmi.
 - Laseb juhtida firma TSI Inc samal meetodil töötavaid, kuid mõõtepiirkonna ja muude omaduste poolest erinevaid gaasikulu mõõteseadmeid, näiteks mudelid 4040, 4043 ja 4045, millel on juhtimises teatud iseärasused käesolevas töös kasutatud seadmega TSI 4143 võrreldes.
- Programmi tegevuste, mõõteprogrammi ja seadme seadete logimine.
 - On abiks olukorras, kus seadmega töötamisel peaks tekkima probleeme, mida on hiljem tarvis tagantjärele analüüsida, et täpsemalt aru saada, mis kuna ja milliste tegevuste käigus juhtus. Näiteks andmete kvaliteedi järelanalüüsimisel.
- Võimalus viia varundatud andmed konkreetsest mõõtearvutist üle teise üldisemasse andmebaasi.
 - Laseb kiirelt luua koopia olemasolevatest andmetest ja seadistustest, kui oleks vaja kasutada antud tarkvara ja seadet koos teise juhtarvutiga.

Kokkuvõte

Käesoleva bakalaureusetöö tulemusena on vastavalt püstitatud eesmärkidele valminud TSI 4143 gaasikulumõõtori juhtimise tarkvara, mis võimaldab luua ühenduse juhtarvuti ja seadme vahel ja tuvastada antud mõõteseadme, konfigureerida selle olulisemaid mõõtmisparameetreid, kuvada mõõteinfot arvutiekraanil nii numbrilisel kui ka graafilisel kujul, salvestada mõõteinfot andmebaasi ja seda andmebaasist hilisema analüüsi tarbeks kuvada ja vajadusel kustutada.

Kuna antud töö korral on tegemist uue tarkvara loomisega, siis selgitati kõigepealt välja seadme kasutaja poolt püstitatud nõuete realiseerimise võimalused, lähtudes seadme tootjafirma poolt etteantud tingimustest andmehõive korraldamiseks mõõteseadme ja juhtarvuti vahel. Selleks tutvus autor antud mõõteseadme töötamise printsiipide ja juhtimiskäsustikuga ning leidis sobilikud lahendused, kavandas seadme juhtimisprogrammi ja disainis kasutaja jaoks mugava juhtpaneeli. Mõõtmisandmete salvestamiseks seostati LabVIEW graafilist programmeerimiskeskonda kasutav programm SQLite andmebaasisüsteemiga. Programmi testiti nii Windows 7 kui ka Windows 10 keskkonnas. Tulemuseks on hästi töötav seadme juhtimisprogramm, mis parandab oluliselt gaasikulumõõtja TSI 4143 funktsionaalsete omaduste kasutamist gaasikulu, temperatuuri ja rõhu mõõtmisel.

Loodud programmi on kasutatud TÜ Füüsika Instituudi keskkonnafüüsika laboris aerosooliseadmete õhukulude testimiseks ja kalibreerimiseks. Programmi kasutamise tulemusena saavutati lisaks täpsematele mõõtmistulemustele ka kokkuhoid mõõtmisteks kulutatud aja osas. Mõõtmistulemused on salvestatud andmebaasi ja kasutatavad ka tulevikus samade seadmetega tehtavate mõõtmistega võrdlemiseks, et tuvastada seadmete õhukulude muutusi.

Antud töö tulemusena loodud tarkvara on tulevikus võimalik lihtsalt kohandada teiste mõõteseadmete juhtimiseks ja mõõtmistulemuste visualiseerimiseks.

Summary

Based on the goals set for the current bachelor's thesis, as a result the software for the TSI 4143 thermal mass flow meter has been successfully created, which can establish a connection between the host computer and the device, identify the particular measuring device, configure its key measurement parameters, display the measured data on the screen in numerical and graphical form, store the acquired information in a local database, as well as display the data from the database for later analysis and, if necessary, delete it.

Because this work is considered as development of a new software, it was first made clear how to realize the set user requirements influenced by the limits set by the manufacturer for data acquisition between the measuring device and the control computer. For that the author familiarized himself with the working principles and the command set of the measuring device and designed its control program and convenient user interface for the newly created software. To save the recorded measurement data on the hard disc of computer the software, developed in the LabVIEW graphical programming environment, was integrated with the SQLite database management system. The software was also tested on the Windows 7 and Windows 10 operating systems. As a result, a well working control software for the device was created, which significantly improves the functional properties of the TSI 4143 thermal mass flowmeter for the gas flow, temperature and pressure measurements.

The software has been used in the Laboratory of Environmental Physics in the Institute of Physics, University of Tartu, to test and calibrate the air flows of different aerosol devices. After the software was taken into use, the measurements results were more precise and less time was spent on measurements. The measurement data is stored in the database and can be used in the future for the comparison of measurements made with the same devices to detect changes in their air flow rates.

The created software can be easily adapted to other measuring devices for controlling and visualizing the measurement results.

Kasutatud kirjanduse loetelu

1. **King, Louis Vessot.** Determination of the Convection Constants of Small Platinum Wires, with Applications to Hot-Wire Anemometry. *On the Convection of Heat from Small Cylinders in a Stream of Fluid*. London : s.n., 1914, pp. 373-432.
<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/214/509-522/373>.
2. **Yoder, Jesse.** Gas flow meters and controllers. *Flow Control Network*. [Online] 01 05 2017. <http://www.flowcontrolnetwork.com/the-history-evolution-of-thermal-flowmeters/>.
3. **JENSEN, K. D.** Flow Measurements. *Mech. Sci. & Eng.*, vol.26, no.4. Rio de Janeiro : J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng., 2004, pp. 400 - 419.
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-58782004000400006.
4. Fluid Mechanics. *Dantec Dynamics A/S*. [Online] 01 05 2017.
<https://www.dantecdynamics.com/fluid-mechanics>.
5. Thermal Mass Flow Meters. *Sierra Instruments Inc.* [Online] 01 05 2017.
<http://www.sierrainstruments.com/products/heavyindustry.html>.
6. Gas flow meters and controllers. *Bronhorst Ltd.* [Online] 01 05 2017.
http://www.bronkhorst.co.uk/en/products/gas_flow_meters_and_controllers/.
7. Products. *Sage Metering*. [Online] 01 05 2017. <https://sagemetering.com/products/>.
8. Flowmeter, Mass, Digital Flowmeters. *TSI*. [Online] [Cited: 01 05 2017.]
<http://www.tsi.com/Flowmeters/>.
9. **Doebelin, Ernest O.** *Measurement Systems. Application and Design. Fourth Edition*. New York : McGraw-Hill Publishing Company, 1990. p. 960.
10. *Issues and temperature compensation techniques for hot wire thermal flow sensor: A review.* **Noraznafulsima Khamshah, Ahmed N. Abdalla, S. P. Koh ja Hassan Farhan Rashag.** pp. 3270 –3278, 2011, International Journal of the Physical Sciences., Vol. Vol. 6(14). <http://www.academicjournals.org/journal/IJPS/article-abstract/1DCD51522453>.
11. **Mojtaba Dehghan Manshadi ja Mohammad Kazemi Esfeh.** Analytical and Experimental Investigation About Heat Transfer of Hot-Wire Anemometry. [Online] 01 05 2017. <https://www.intechopen.com/books/an-overview-of-heat-transfer-phenomena/analytical-and-experimental-investigation-about-heat-transfer-of-hot-wire-anemometry>.
12. **Miheev Nikolay I., Molochnikov Valeriy M., Kratirov Dmitriy V., Hayrnasov Konstantin R., Zanko Philipp S.** Hot-wire measurements with automatic compensation of ambient temperature changes. [Online] 01 05 2017.
<https://doi.org/10.2298/TSCI100303066M>.

13. **King, Louis Vessot.** Determination of the Convection Constants of Small Platinum Wires with Applications to Hot-Wire Anemometry. *On the Convection of Heat from Small Cylinders in a Stream of Fluid*. London : s.n., 1914, pp. 563-570.
<http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/90/622/563>.
14. **Shekhter, Yu.L.** HOT-WIRE AND HOT-FILM ANEMOMETERS. *Thermopedia*.
[Online] [Cited: 01 05 2017.] <http://www.thermopedia.com/content/853/>.
15. What Can You Do With LabVIEW? *National Instruments*. [Online] [Cited: 01 05 2017.]
<http://www.ni.com/labview/why/>.
16. About SQLite. *SQLite*. [Online] [Cited: 01 05 2017.] <https://www.sqlite.org/about.html>.
17. SQLite Library for LabVIEW by Dr. James Powell. *National Instruments*. [Online]
[Cited: 01 05 2017.] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/212894>.
18. NI-VISA Run-Time Engine 15.0. *National Instruments*. [Online] [Cited: 01 05 2017.]
<http://www.ni.com/download/ni-visa-run-time-engine-15.0/5379/en/>.

LISAD

LISA 1. Seadme TSI Mass Flowmeter 4143 tehnilised andmed.

Õhukulu mõõtmine.

Mõõtepiirkond: 0.01 - 20 Std L/min.

Mõõtmistäpsus (õhk): 2% lugemist või 0.005 Std L/min, kumb suurem on.

Kuvatav resolutsioon: 0.001 Std L/min piirkonnas 0.01 - 9 Std L/min ja 0.01 Std L/min piirkonnas 9 - 20 Std L/min.

Reageerimisaeg: väiksem kui 4 ms, 63% lõppväärtusest mõõtepiirkonna kogu ulatusele vastava muutuse korral.

Temperatuuri mõõtmine.

Mõõtepiirkond: 0 - 50°C

Mõõtmistäpsus: $\pm 1^\circ\text{C}$, suuremate kui 1 L/min õhukulude korral.

Kuvatav resolutsioon: 0.1°C.

Reageerimisaeg: väiksem kui 75 ms, 63% lõppväärtusest temperatuuri 20°C astmelise muutuse ja mõõtepiirkonna kogu ulatusele vastava kulu korral.

Staatilise rõhu mõõtmine.

Mõõtepiirkond: 50 - 199 kPa (absoluutne rõhk).

Mõõtmistäpsus: ± 1 kPa.

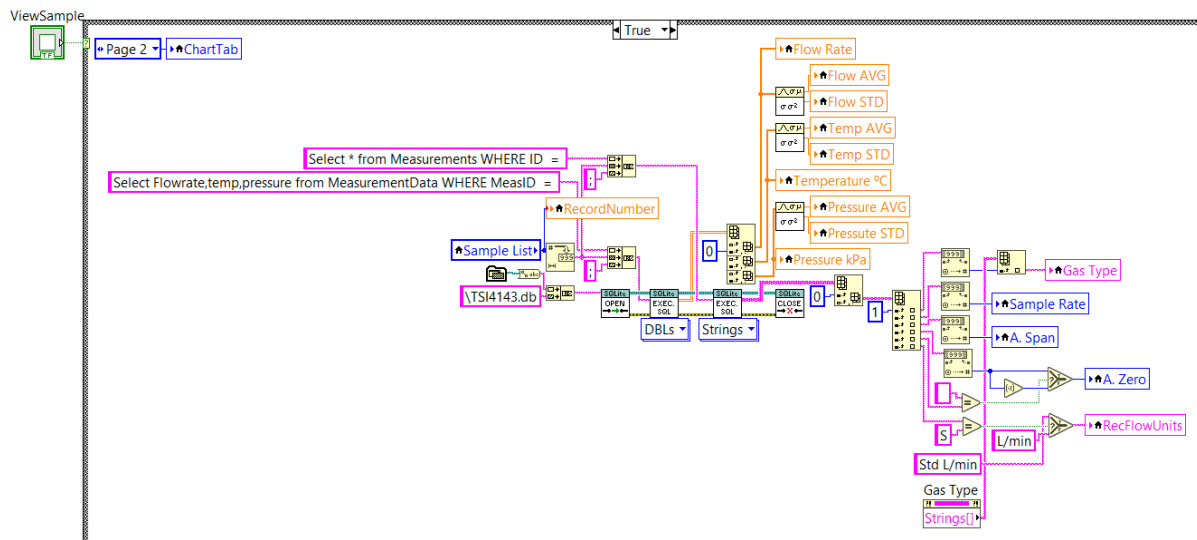
Kuvatav resolutsioon: 0.1 kPa.

Reageerimisaeg: väiksem kui 4 ms, 63% lõppväärtusest rõhu 30 kPa astmelise muutuse korral.

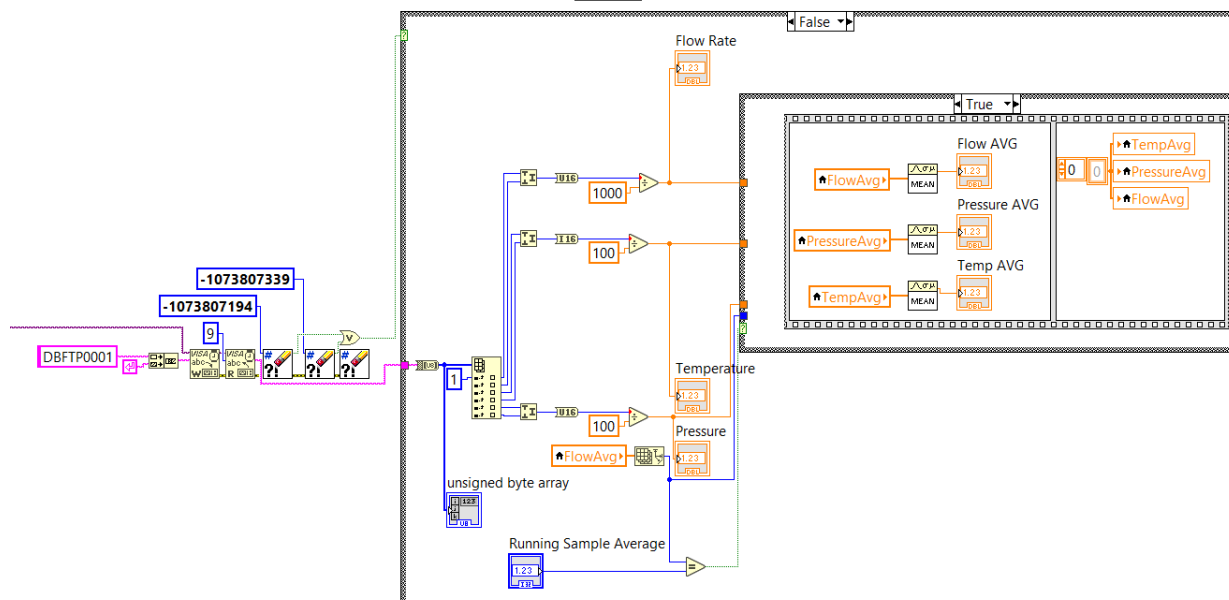
Maksimaalne ülerõhk: 620 kPa

Rõhulangus mõõteseadmel (koos filtriga): ca 5 cm H₂O gaasikulu 5 Std L/min ja 44 cm H₂O gaasikulu 20 Std L/min korral.

LISA 2. LabVIEW programmi koodinäide. Ekraanipilt nupule „View Sample“ vajutamise programmikoodist.



LISA 3. LabVIEW programmi koodinäide. Ekraanipilt mõõtmise programmikoodist.



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kristo Hõrrak

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Gaasikulumõõduri TSI 4143 juhtimise tarkvara arendamine” mille juhendaja on vanemteadur Urmas Hõrrak,
 - a) reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - b) üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 16.05.2017